# ELETRÔNICA RÁDIO E TV

SUMÁRIO


**15ª LIÇÃO TEÓRICA**

DEMODULADORES

- Deteção
- Classificação dos detetores
- Detetores

SISTEMAS DE RECEPÇÃO

- Sistemas
- Amplificação direta
- Conversão de freqüência

**15ª LIÇÃO PRÁTICA**

APLICAÇÃO DOS DETETORES

- Antena
- Antena ressonante e não-ressonante
- Antenas receptoras
- Tipos de antenas receptoras
- Construção de uma antena
- Instalação do terra
- Receptor elementar

RECEPTORES

- Receptor regenerativo

**15ª LIÇÃO ESPECIAL**

CIRCUITOS RESSONANTES (2ª PARTE)

- Impedância
- Ressonância
- Banda passante
- Fator de mérito
- Circuitos acoplados indutivamente
- Impedância refletida


**INSTITUTO UNIVERSAL BRASILEIRO**

# CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO - TV
# 15ª LIÇÃO TEÓRICA
# DEMODULADORES E SISTEMAS DE RECEPÇÃO

## Introdução

Vimos, em lições anteriores, que as transmissões radiofônicas são feitas por uma onda eletromagnética de alta freqüência, chamada **onda portadora**. Ela tem esse nome por ser, em verdade, apenas o **veículo** que transporta informações úteis, tais como: som, imagem, etc. Aprendemos que, para isso, a onda de radiofreqüência é "misturada" com os impulsos elétricos que se deseja transmitir, passando, então, a se denominar **onda modulada**.

A portadora pode ser modulada em **amplitude, freqüência e fase**.

Pois bem, na antena recolhe-se a onda modulada por um dos três processos já citados. A partir daí, cabe ao receptor extrair da portadora as informações úteis, o que se consegue através da **deteção** do sinal, que estudaremos nesta lição.

## I - Deteção

Sabe-se, pelas lições anteriores, que uma oscilação de radiofreqüência tem o aspecto que mostramos na **figura 1**,

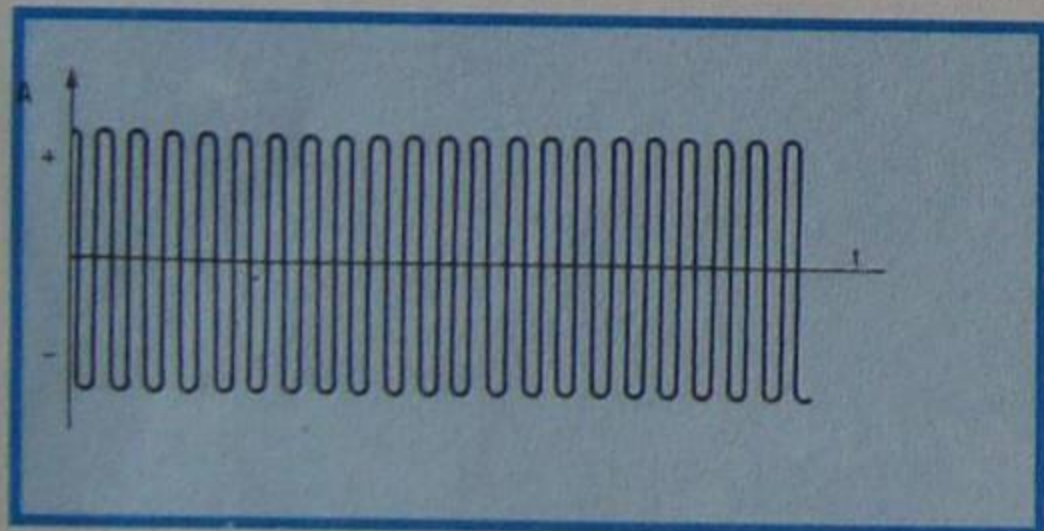



Figura 1 - Onda sem modulação (portadora)

enquanto uma oscilação de audiofreqüência é aquela que mostramos na **figura 2**. Observe que desenhamos aí uma onda de áudio de amplitude constante, apenas para simplificar a figura, pois, de um modo geral (como acontece com a voz, música, etc.), a amplitude da onda de áudio é **variável**.

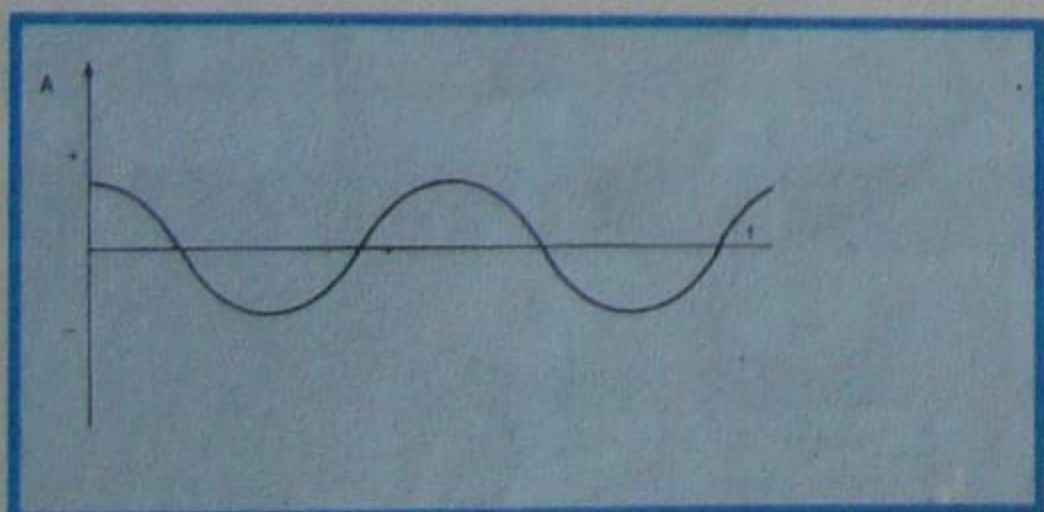



Figura 2 - Onda moduladora (áudio).

Ao se modular a onda de RF (figura 1) pela onda de áudio (figura 2) resulta a onda de RF modulada que reproduzimos na **figura 3**. Dessa figura podemos tirar duas conclusões importantes:

1ª - A onda modulada tem sua amplitude variável - daí o nome de modulação de amplitude - de acordo com a amplitude da onda moduladora.

2ª - As variações de amplitude dos picos positivos e negativos da onda modulada seguem exatamente a forma da onda moduladora. Diz-se que **a onda portadora está envolvida pela moduladora** e, por isso, dá-se o nome de **envoltória** à onda formada pela união dos picos da onda modulada. A onda portadora leva consigo duas envoltórias: uma positiva e outra negativa.

As ondas recebidas na antena do receptor tem a forma da figura 3. Como sabemos, o circuito de antena **sintoniza** a emissora que se quer receber. Para que possamos retirar a informação da onda portadora, isto é, ouvir os sons transmitidos pela emissora, não basta sua sintonização; é necessário efetuar a operação inversa àquela feita pelo transmissor, ou seja, é necessário suprimir a onda portadora, isto é, separar a onda moduladora da onda portadora. O processo de separação recebe o nome de **demodulação** ou **deteção**, como já se definiu na introdução.

Cabe aqui um esclarecimento. Sempre afirmamos que é necessário empregar amplificadores de radiofreqüência, porque a onda recebida na antena tem intensidade muito pequena, portanto, insuficiente para movimentar o cone de um alto-falante. Já que se pode amplificar à vontade o sinal de RF, é lógico pensar-se que se pode aplicar o sinal ao alto-falante, desde que este sinal tenha potência suficiente para movimentar o cone. Entretanto, se utilizarmos essa

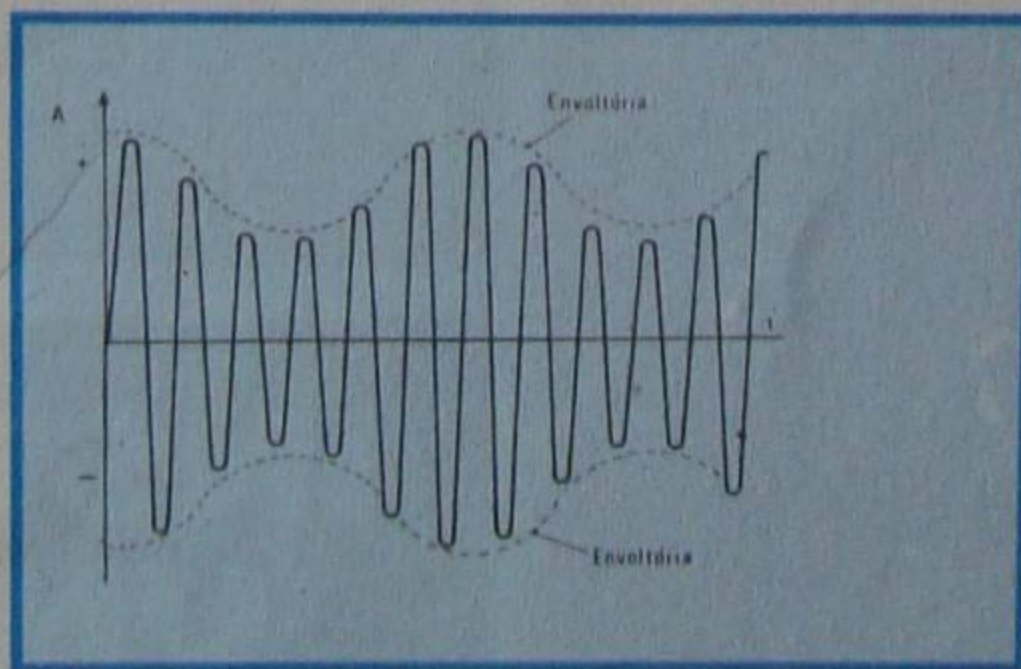



Figura 3 - Onda de RF modulada.

prática, teremos uma grande decepção, pois o alto-falante não reproduz nada. A razão disso está no fato de o alto-falante (ou fone) possuir inércia muito grande, isto é, devido a sua massa, ele não pode mover-se com a rapidez da onda de RF. Portanto, o alto-falante, ou fone, reproduz apenas as ondas lentas, ou seja, as ondas sonoras, exigindo que o sinal de RF, a eles aplicado, seja antes **detetado**. Feito este esclarecimento, voltemos à deteção.

Observando a figura 3, nota-se que as duas envoltórias são simétricas, sendo uma positiva e outra negativa, e ambas correspondem à onda moduladora. O problema da deteção consiste em separar uma das envoltórias, não importando qual. A figura 3 sugere que a separação de uma envoltória pode ser efetuada passando-se a portadora modulada por um elemento retificador.

Já aprendemos que os diodos, prestam-se à retificação da tensão de baixa freqüência da rede de alimentação. Partindo-se disto, diodos especiais foram criados para a deteção de ondas de freqüência elevada.

## II - Classificação dos detetores

Os detetores, para a demodulação de ondas moduladas em amplitude, classificam-se genericamente em:

a) Detetores quadráticos
b) Detetores lineares

### a) Detetor quadrático

O detetor quadrático opera na região de maior curvatura da característica tensão-intensidade de um dispositivo **não-linear**.

Suponhamos, por exemplo, que se tenha a curva de transferência de um transistor NPN. Se a base do transistor for polarizada no ponto de corte, ou próximo dele, e a ela aplicarmos um sinal alternado, resulta que somente serão amplificados os semiciclos **positivos** da onda aplicada, pois, como o aluno deve lembrar-se, com tensão abaixo do ponto de corte o transistor não conduz. Deste modo, há retificação, ou seja, o transistor só aplica os semiciclos positivos. É fácil de se perceber que o sinal aplicado à base do transistor deve ser fraco, isto é, de pequena amplitude, caso contrário haverá grande distorção. Por outro lado, a

corrente de coletor nessa região é dada por uma lei quadrática, ou seja, tem um termo elevado ao quadrado, daí o nome de **detetor quadrático** a esse tipo de demodulador.

O detetor quadrático tem a desvantagem de introduzir distorção.

### b) Detetor linear

Como a denominação sugere, esse tipo de detetor emprega um dispositivo cuja variação da corrente com a tensão segue uma lei **linear.** Na **figura 4,**

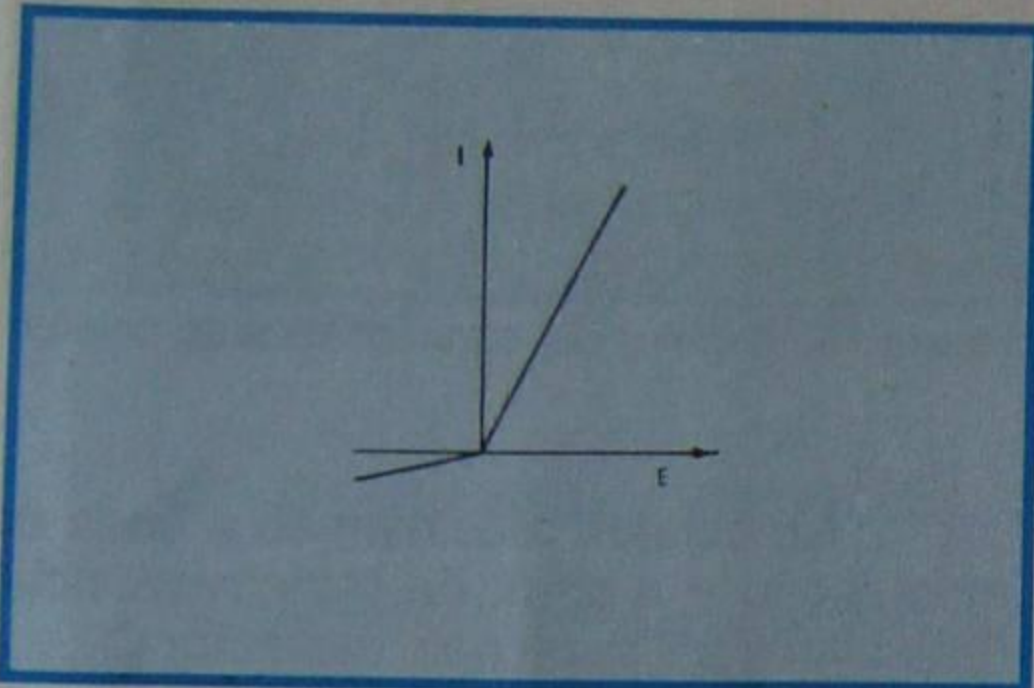



Figura 4 - Curva de um diodo ideal.

apresentamos a curva característica de um diodo ideal, que obedece a lei de variação linear. Certamente se trata de um diodo ideal; entretanto, na prática, pode-se fazer com que o diodo real se aproxime do ideal, colocando-se, em série com ele, uma resistência elevada. Na **figura 5** ilustramos o processo de deteção utilizando o diodo linear. Como se pode observar, a grande vantagem desse tipo de deteção é que não se introduz distorção. Na realidade, sempre existirá alguma distorção, porque os diodos práticos não são absolutamente lineares, mas ela será bem pequena, comparada aos detetores quadráticos. Atualmente, quase a totalidade de receptores de rádio utiliza a deteção linear, ou seja, utiliza diodo semicondutor. Por esse motivo, vamos estudá-la com mais detalhes.

Na **figura 6** apresentamos um circuito prático de detetor por diodo de silício.

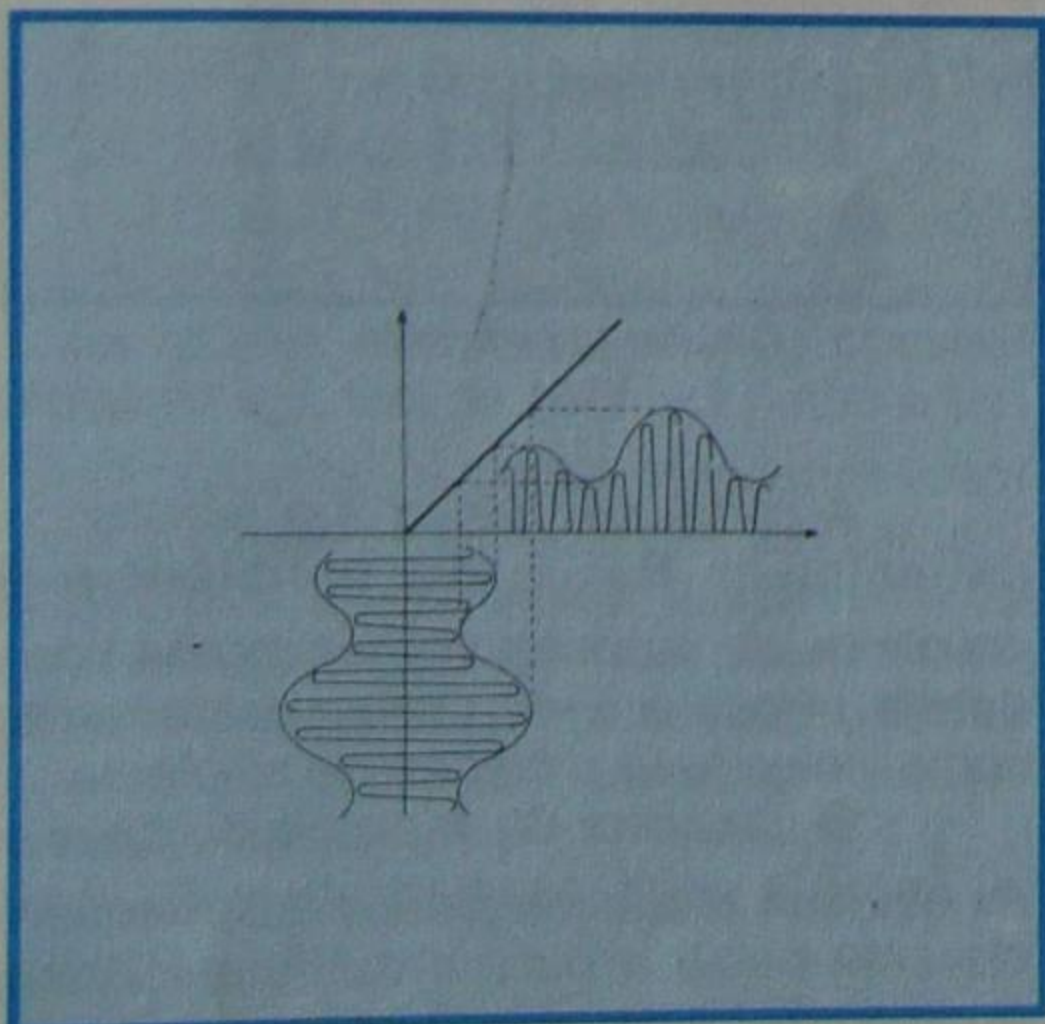



Figura 5 - Curva de deteção para um diodo ideal.

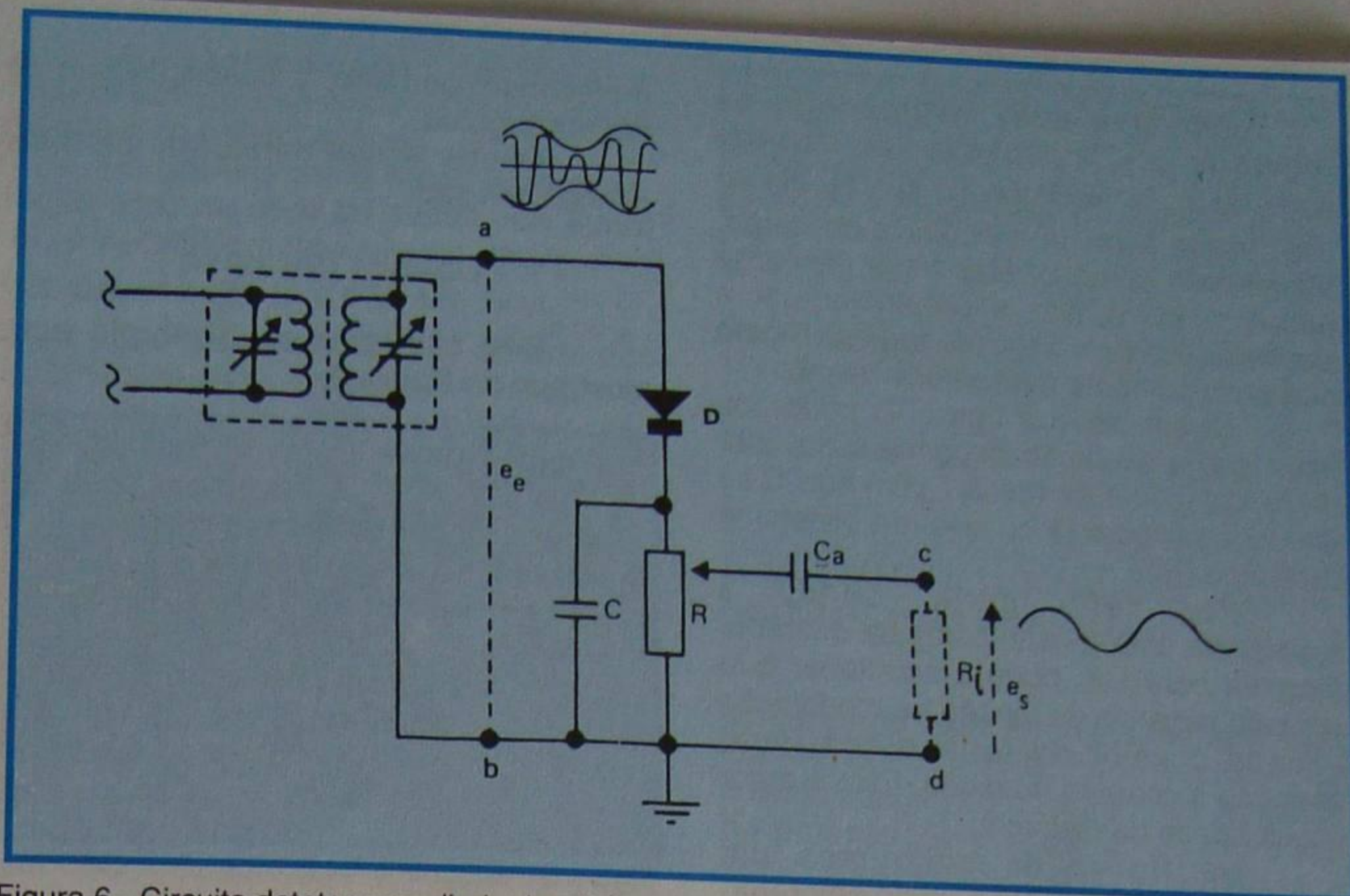



Figura 6 - Circuito detetor com diodo de silício.

Entre os pontos **a** e **b** é aplicado o sinal de RF modulado que, em nossa figura, supusemos retirado do secundário de um transformador de FI, por ser esse o caso mais comum.

Durante as alternâncias positivas do sinal de entrada, o ânodo do diodo é positivo em relação ao cátodo, e há circulação de corrente pelo resistor de carga **R** (situado no cátodo), a qual produzirá queda de tensão variável no ritmo das alternâncias. Essa tensão, cuja variação é a mesma da envoltória, transfere-se ao estágio seguinte, que pode ser um amplificador de áudio, ou um fone, através do capacitor de acoplamento $\mathbf{C_a}$. Representamos por $\mathbf{R_i}$ a resistência de entrada do estágio de saída.

O resistor de carga **R** é feito variável, para que se possa dosar o sinal de saída e, assim, controlar o "volume" de áudio; por isso, a carga do detetor costuma ser um potenciômetro.

O capacitor **C** é usado para filtrar a corrente de alta freqüência e melhorar o rendimento da deteção. O capacitor deve ser escolhido de modo que apresente reatância alta para as freqüências de áudio e baixa para as de RF. Assim, a reatância de **C** deve ser muito mais alta que o valor de **R** para freqüências de áudio, e muito mais baixa que o valor de **R** para a freqüência da portadora.

Nos receptores transistorizados, os valores mais freqüentes são 10 nF para o capacitor de filtro e 10 KΩ para a resistência de carga.

Na prática, pode-se considerar que a constante de tempo RC (produto da resistência de carga pela capacitância de filtragem) seja da ordem de 50 microssegundos.

Da figura 6 concluímos que a resistência **R** é a carga para corrente contínua, somente. Para a variável, isto é, a de modulação, a carga será a resistência **R** em paralelo com a de entrada do estágio seguinte, desde que se possa desprezar a reatância de $\mathbf{C_a}$ frente à de $\mathbf{R_i}$, o que normalmente acontece.

De fato, embora tenhamos afirmado que o detetor linear apresenta menor distorção que o detetor quadrático, mesmo assim se vê que ele não está isento de deformação. Realmente, o capacitor de filtragem **C**, da figura 6, carrega-se com tensão correspondente ao valor médio da onda detetada, durante o semiciclo positivo, e descarrega-se sobre **R** durante o negativo. Com isto, a curva da tensão média não segue exatamente a forma da envoltória, como se pode ver pela **figura 7**, provocando a distorção de amplitude.

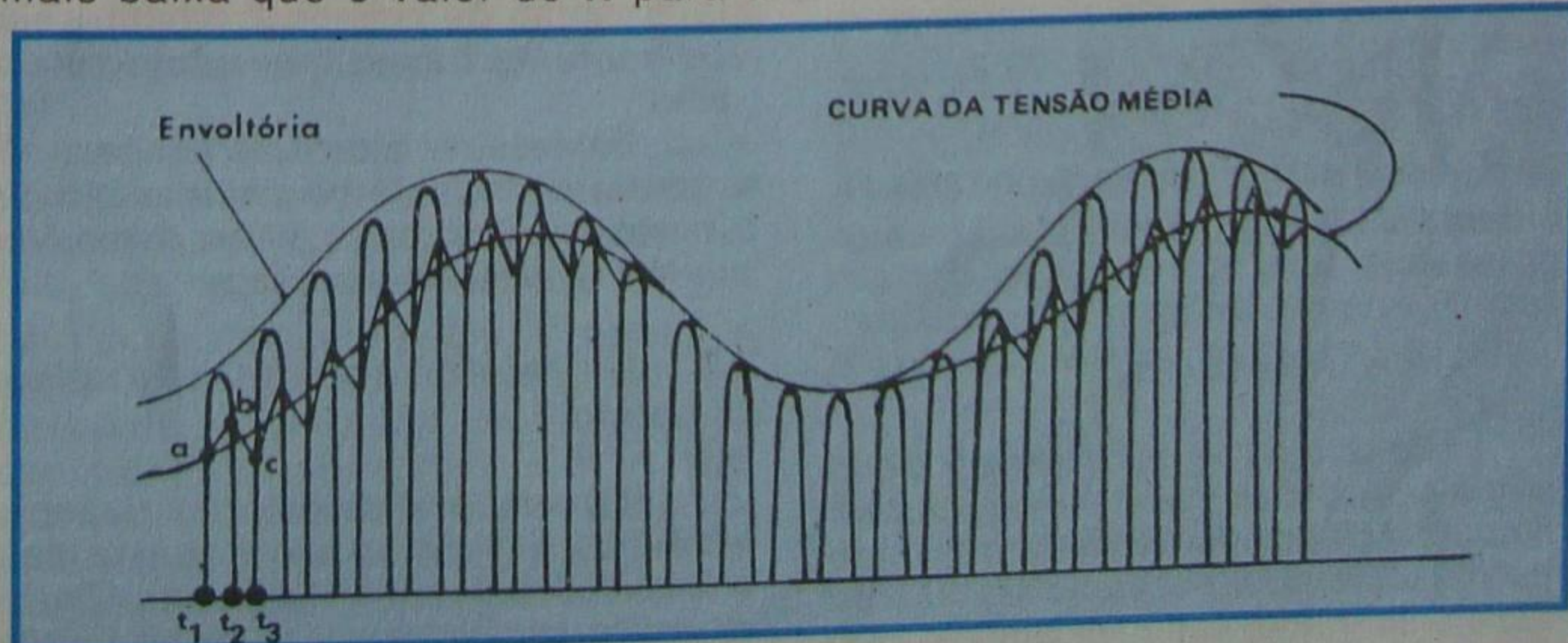



Figura 7 - Curvas exemplificando a distorção de amplitude.

Observe que, no intervalo de tempo $t_1$ - $t_2$, o capacitor se carrega segundo **a**, **b**. No intervalo $t_2$ - $t_3$, ele se descarrega sobre a resistência de carga, atingindo o ponto **c**. Mas essa descarga não é rápida e, sim, exponencial, como sabemos. No ciclo seguinte tudo se repete proporcionalmente à amplitude do pico.

Observando a figura 7, podemos intuir que a distorção dependerá do fator de modulação e da rapidez com que **C** se descarrega sobre **R**, ou seja, da constante de tempo RC.

Por outra parte, sendo a resistência para tensão contínua diferente daquela para CA, poderá acontecer que um pico negativo da tensão de modulação exceda o valor da tensão contínua, cortando a corrente no diodo. Esta é outra possibilidade de distorção.

Na **figura 8**, mostramos um circuito típico de detetor a diodo empregado em receptores transistorizados.

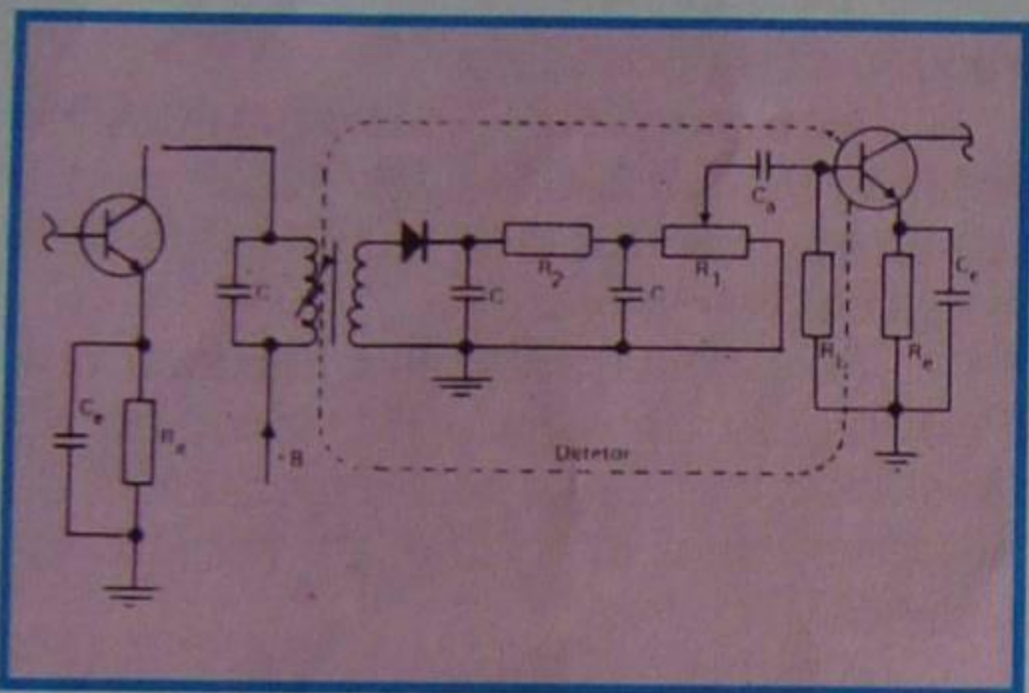



Figura 8 - Circuito de um detetor a diodo.

Para o detetor do circuito transistorizado, os valores variam com maior elasticidade devido, como já afirmamos, à resistência de entrada do transistor; todavia, os valores mais freqüentes são:

C = 10.000 pF
$R_1$ = 10.000 Ω
$R_2$ = 1.000 Ω

para transistores cuja resistência de entrada seja da ordem de 10 KΩ.

Se a resistência for da ordem de 5 KΩ, teremos:

C = 20.000 pF
$R_1$ = 5 kΩ
$R_2$ = 500 Ω

Como se nota, procura-se fazer com que $\mathbf{R_2}$ seja, aproximadamente, 1/10 de $\mathbf{R_1}$ e que a constante de tempo seja da ordem de 50 μseg, embora esse valor possa variar entre 20 e 100 μseg.

## III - Detetores

Embora a deteção linear por diodo seja a de uso mais generalizado, existem circuitos clássicos de detetores, que foram utilizados no início da era da radiofonia e que, esporadicamente, são ressuscitados por alguns projetistas, merecendo, portanto, a descrição que se faz em seguida.

Dentre esses detetores, os mais conhecidos são:

### 1º - Detetor por base

Seu esquema de princípio está mostrado na **figura 9**.

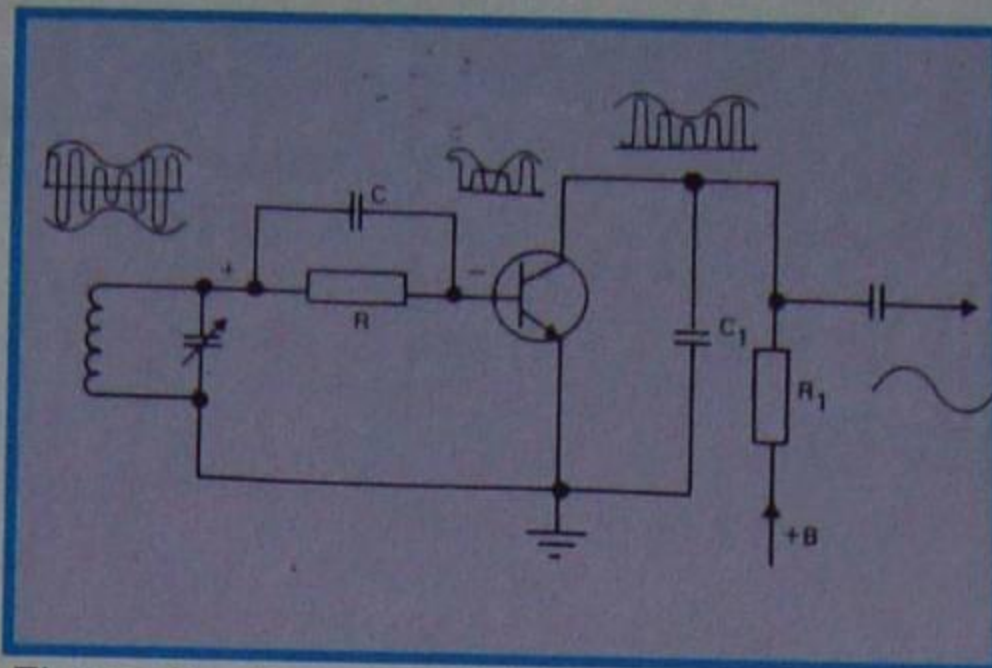



Figura 9 - Esquema básico de um detetor por base.

Neste detetor, a base do transistor atua como o ânodo do diodo-detetor. O resistor **R** é a carga do detetor e **C** é o capacitor de filtro de radiofreqüência.

A base é polarizada próximo da região de corte, de modo que somente os semiciclos positivos da onda de RF fazem variar a corrente de coletor de acordo com o valor médio da envoltória. Essa variação de áudio é amplificada pelo transistor e recolhida no coletor.

A polarização automática de base é efetuada pela própria resistência de carga do detetor, pois o emissor está ligado diretamente à terra, como se observa nesta figura. Os semiciclos positivos da onda de RF modulada fazem variar a tensão de base, de acordo com a variação de amplitude da onda moduladora. Essa variação, por sua vez, estando aplicada entre base emissor é amplificada pelo transistor. O capacitor $\mathbf{C_1}$, elimina a RF presente no coletor.

A deteção por base tem várias desvantagens e, por isso, foi abandonada há muito tempo.

A tensão de radiofreqüência, aplicada à base, deve ter valor baixo para não saturá-la. Isto seria uma vantagem, pois significa que a sensibilidade do detetor de base é grande. Por outro lado, a polarização com baixa tensão implica que a tensão de coletor, também, seja relativamente baixa, com prejuízo do ganho.

Em resumo, a deteção por base só se presta a sinais de pequena amplitude e, mesmo assim, está sujeita a distorções inerentes à deteção quadrática.

### 2º Detetor por característica de coletor

Este método de deteção consiste, também, em polarizar a base nas proximidades da tensão de corte. Deste modo, os semiciclos negativos da tensão de radiofreqüência não provocam variação da corrente de coletor, pois levam a base além do corte. Por outro lado, os semiciclos positivos tiram o transistor do corte, fazendo com que ele conduza e amplifique as variações da envoltória. Um circuito típico é mostrado na **figura 10**.

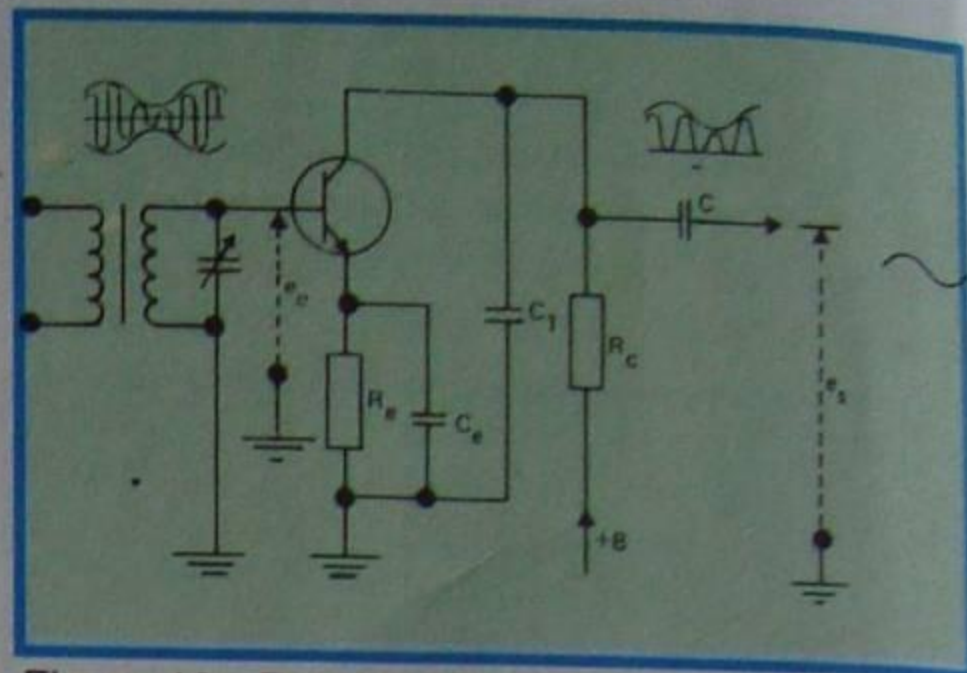



Figura 10 - Detetor por característica de coletor.

No coletor, recolhem-se a onda de modulação e a onda de radiofreqüência. Esta última é filtrada pelo capacitor $\mathbf{C_1}$.

A deteção por característica de coletor tem maior interesse que a deteção por base. De fato, a polarização, sendo automática, possibilita trabalhár com sinal de RF em grau bem maior que no caso do detetor de base. Isto significa que a distorção pode ser pequena porque se pode trabalhar na região linear da característica de coletor.

Outra vantagem é que a base não amortece o circuito ressonante de entrada, como acontece com o detetor por base.

### 3º - Detetor por emissor

Na deteção por emissor, a resistência de carga está situada no emissor. O circuito típico é aquele mostrado na **figura 11**.

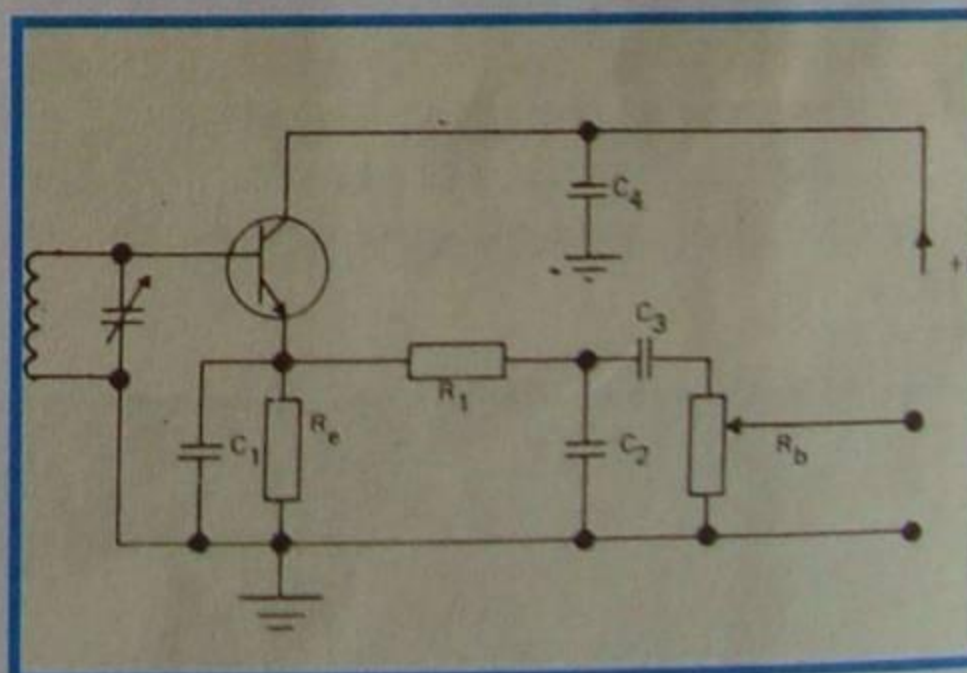



Figura 11 - Detetor por emissor.

A carga do detetor é a resistência de emissor $\mathbf{R_e}$. Essa resistência é escolhida de modo que a tensão de base esteja próxima à de corte, exatamente como vimos para o detetor de coletor.

O capacitor $\mathbf{C_1}$ é escolhido de modo que sua reatância para a radiofreqüência seja baixa e para a audiofreqüência (modulação) seja alta. O capacitor $\mathbf{C_2}$ e o resistor $\mathbf{R_1}$ formam um filtro de RF.

$C_3$ é o capacitor de acoplamento e $R_b$ (potenciômetro) é o resistor de base do transistor seguinte. Este resistor é variável para que se possa controlar o ganho (volume). Finalmente, o capacitor $C_4$ é de valor elevado e **aterra** tanto as tensões de RF como as de AF.

Pode-se então concluir que o transistor atua como seguidor de emissor, portanto, admitindo tensão elevada na base e apresentando elevada resistência de entrada. Devido à última característica, este detetor também é conhecido como **detetor de impedância infinita**.

A vantagem deste detetor é que, devido à alta taxa de realimentação, a deformação é muito baixa, proporcionando excelente fidelidade. Por outro lado, o ganho é menor que a unidade, ou seja, não há ganho e, sim, atenuação.

## 4º - Detetores regenerativos

Os detetores regenerativos utilizam o fenômeno da realimentação positiva, que, como se sabe, consiste em fazer o sinal de saída retornar à entrada com a mesma fase. A realimentação positiva reforça os sinais, e, também, a seletividade.

Na **figura 12** apresentamos um circuito típico de detetor regenerativo.

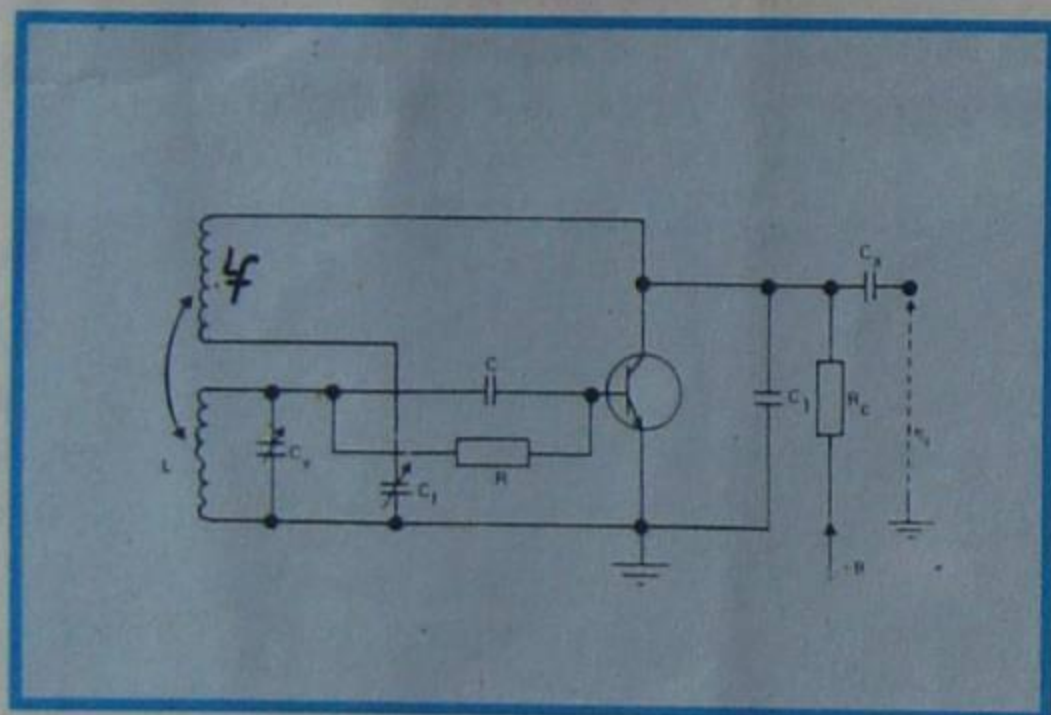



Figura 12 - Detetor regenerativo.

Como se observa, temos, fundamentalmente, um detetor por base, formado pelo enrolamento sintonizado $LC_V$ resistor de carga **R**, capacitor de filtro **C**, resistor de carga de áudio $R_c$, capacitor de demodulação (passagem de RF) $C_1$ e capacitor de acoplamento $C_a$.

O sinal de RF é detetado pela base e amplificado pelo transistor. O sinal de saída retorna à entrada, através do acoplamento indutivo da bobina $L_f$ com a bobina L. Quando os dois enrolamentos têm sentido conveniente, constata-se que, pela aproximação entre eles, há aumento do sinal de saída. Quando o acoplamento entre os enrolamentos é muito forte, o circuito entra em oscilação, alterando o funcionamento do detetor.

O capacitor $C_f$ ajusta a realimentação.

O detetor regenerativo se presta à recepção das ondas telegráficas (CW).

A sensibilidade do detetor regenerativo é consideravelmente maior do que a do detetor a diodo.

Existe um ponto ótimo de regeneração que, no caso do circuito da figura 12, é escolhido pela variação de $C_f$, uma vez que as bobinas **L** e $L_f$ são fixas.

O detetor regenerativo padece dos inconvenientes do detetor por base, isto é, alta distorção, impossibilidade de trabalhar com sinal de RF relativamente alto e instabilidade.

Uma variante do detetor regenerativo é o **super-regenerativo**. Nesse tipo de detetor é utilizado um dispositivo (que pode ser um oscilador separado) que produz uma oscilação inaudível de 20 a 100 KHz. Como é óbvio, esta oscilação, sendo realimentada positivamente, produz reforço do sinal e maior volume na saída.

A vantagem desse sistema é sua alta sensibilidade. Em contrapartida, tem a desvantagem de apresentar elevado índice de ruído, quando não há sinal, pobre seletividade e alta distorção.

Na **figura 13** apresentamos o esquema de um receptor super-regenerativo, onde representamos, por um bloco, o oscilador; entretanto, há arranjos que prescindem do oscilador independente.

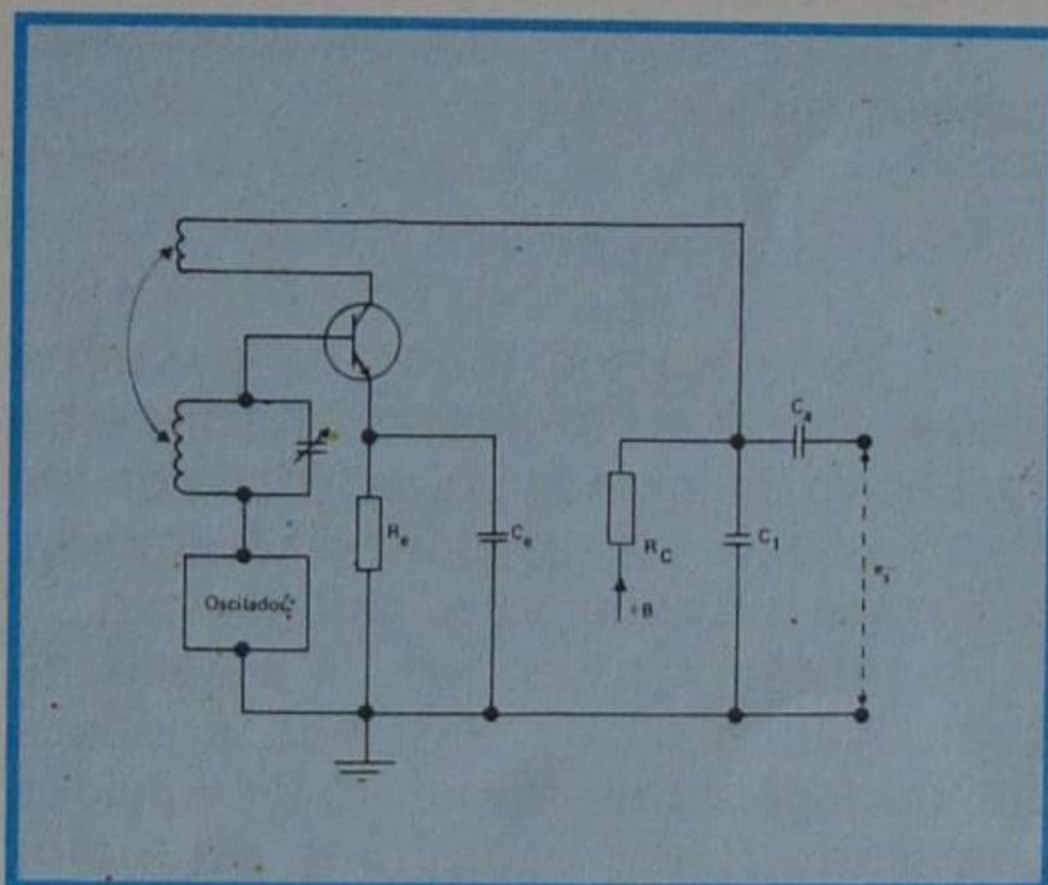



Figura 13 - Detetor super-regenerativo.

Observe que utilizamos agora um detetor por característica de coletor, porém poder-se-ia usar a deteção por base.

## 5º - Outros detetores transistorizados

Como ilustração de outro detetor transistorizado, temos o circuito da **figura 14.**

O funcionamento desse detetor é semelhante ao detetor por característica de coletor, que acabamos de estudar. De fato, através dos resistores $R_1$ e $R_2$, a base é polarizada nas proximidades do corte de corrente. O sinal de RF modulado é injetado na base através do secundário do transformador TFI. A base é polarizada no sentido direto - no caso, transistor PNP - e, portanto, negativa em relação ao emissor. Durante os semiciclos positivos da onda portadora modulada, o

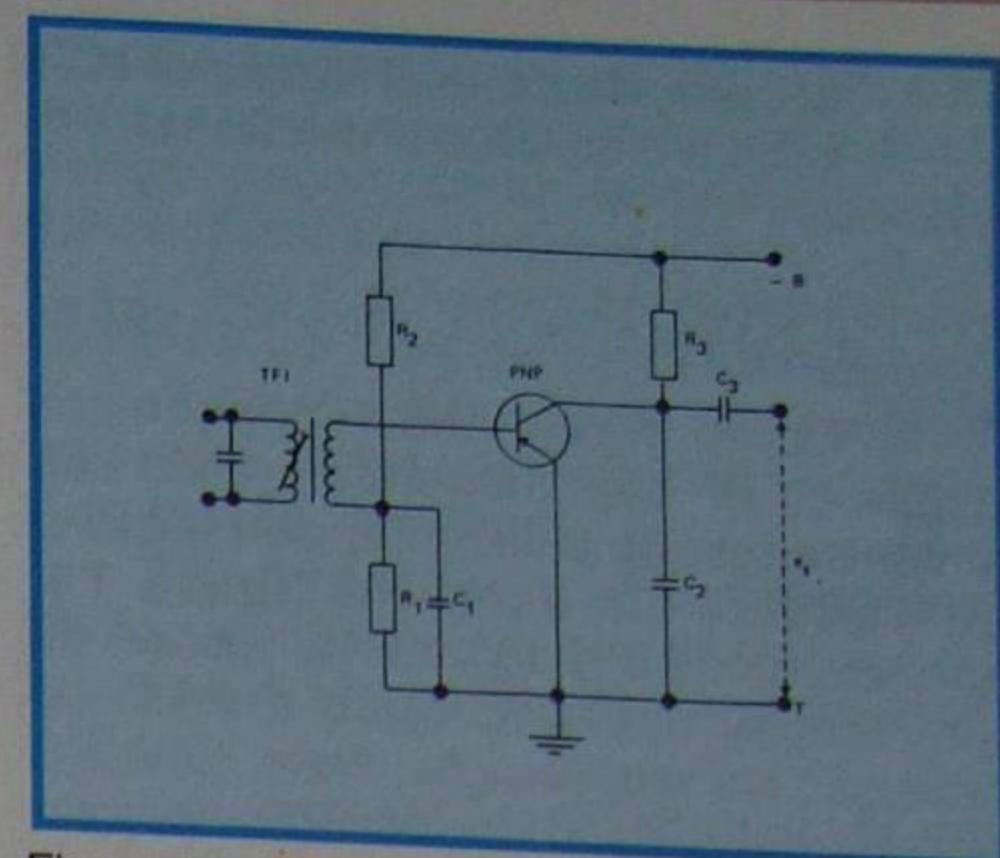



Figura 14 - Detetor transistorizado.

potencial de base aumenta, ou seja, fica menos negativo, e não haverá corrente de coletor, porque, como admitimos, a tensão de polarização é a de corte. Por outro lado, os semiciclos negativos aumentam a polarização negativa da base, tirando o transistor do corte. Assim, somente as variações negativas da portadora serão amplificadas.

Essas variações, evidentemente, correspondem ao valor médio da modulação.

A onda detetada é recolhida no resistor de carga $R_3$. O capacitor $C_2$ filtra a onda de RF e $C_3$ dá passagem ao sinal detetado para o estágio seguinte.

A vantagem desse detetor é que ele proporciona ganho sem introduzir deformações.

Para encerrar, acrescentamos que, embora a deteção utilizando transistor seja interessante, por ser tão linear quanto a obtida com diodo e ter a vantagem adicional de proporcionar ganho, ela não goza da preferência dos projetistas, devido à simplicidade e custo proporcionados pela utilização do diodo.

# Sistemas de Recepção

Devemos entender por sistema de recepção o método segundo o qual as informações úteis são extraídas da onda portadora de radiofreqüência.

Obviamente, o sistema de recepção deverá ser adequado ao de transmissão; todavia, para o mesmo sistema de transmissão, é possível a existência de mais de um método de recepção.

A seguir, estudaremos os sistemas apropriados à recepção das ondas de amplitude modulada (AM), utilizados nas emissões comerciais de entretenimento, que são as de dupla faixa lateral. A recepção de ondas moduladas em freqüência, ou fase, serão apresentadas em outra parte do curso.

## I - Sistemas

Fundamentalmente, podemos dividir os sistemas de recepção de AM em duas classes:

a) Sistemas de amplificação direta
b) Sistemas de conversão de freqüência

### a) Sistemas de amplificação direta

Neste método de recepção, as ondas de RF captadas pela antena são sintonizadas, amplificadas, detetadas e convertidas em som. Na **figura 15,** apresentamos o diagrama de blocos de um receptor que emprega o método da recepção por amplificação direta. Este é o sistema mais lógico de recepção, porque corresponde a efetuar **exatamente** a função **inversa** do transmissor. De fato, vimos que, no transmissor, a onda portadora é modulada pelos sons captados através do microfone, ou outro **transdutor** conveniente, amplificada em potência e irradiada pela antena.

No receptor, a onda, evidentemente enfraquecida, é captada pela antena, sofre amplificação, é detetada e transformada em sons num alto-falante, ou outro tipo de transdutor.

O sistema de amplificação direta foi largamente utilizado no início da era do rádio, sendo posteriormente abandonado em favor do sistema mais evoluído, que é da conversão de freqüências. Atualmente, o sistemas de amplificação direta só é empregado em situações especiais.

Os maiores inconvenientes do sistema de recepção por amplificação direta são:

### 1º) Baixa seletividade

De fato, o aluno aprendeu que, para se conseguir **seletividade elevada** é necessário circuito com **Q alto**. Por outro lado, o Q depende da relação entre a freqüência a ser recebida e a banda passante desejada. Ora, se a freqüência for alta, o Q também deverá ser, porque a banda passante não deve ser superior à de modulação.

Vamos dar um exemplo numérico que muitas vezes esclarece mais facilmente que inúmeras palavras.

Suponhamos que se deseje receber uma onda de 1.600 KHz, com banda passante de 10 KHz. O Q do circuito deverá ser:

$$Q = \frac{1.600}{10} = 160$$

valor este facilmente conseguível na prática.

Suponhamos, agora, que se queira receber a onda de 16 MHz, com a mesma banda passante de 10 KHz. Obviamente, o Q deverá ser de:

$$Q = \frac{16.000 \text{ KHz}}{10 \text{ KHz}} = 1.600$$

valor esse quase impossível de ser conseguido.

Desse exemplo, percebe-se que a seletividade só é aceitável nas freqüências mais baixas de RF, ou seja, para ondas médias ou longas.

Para aumentar a seletividade é preciso acrescentar mais circuitos sintonizados, expediente este que acarreta dois novos inconvenientes que são:

### 2º) Dificuldade mecânica

Realmente, para um receptor com 4 circuitos sintonizados, por exemplo, são necessários, também, 4 capacitores (ou indutores) variáveis em tandem ou singelos o que, em qualquer das circunstâncias acarreta problemas.

Além desse, temos o terceiro inconveniente, que é:

### 3º) Instabilidade

Por estarem todos os circuitos ressonantes sintonizados na mesma freqüência, há grande possibilidade de um sinal de saída ser reconduzido à entrada, com mesma fase, e provocar oscilação.

Apesar de tudo isso, o sistema de amplificação direta teve sua época e muitos receptores foram desenvolvidos com êxito. Dentre os tipos de maior aceitação podemos citar os seguintes:

**Radiofreqüência sintonizada (RFS):** É o mais simples deles e seu circuito básico está mostrado na **figura 16**.

A onda recebida na antena, através do indutor $L_1$, é transferida ao indutor $L_2$, que em paralelo com $Cv_1$ forma um circuito ressonante **série.** A freqüência sintonizada é amplificada por $T_1$ (daí o nome de RFS), que tem o choque de radiofreqüência como carga. O sinal amplificado é transferido à base de $T_2$, onde há um circuito ressonante **série** $L_5$

Figura 15 - Diagrama de blocos de um receptor.

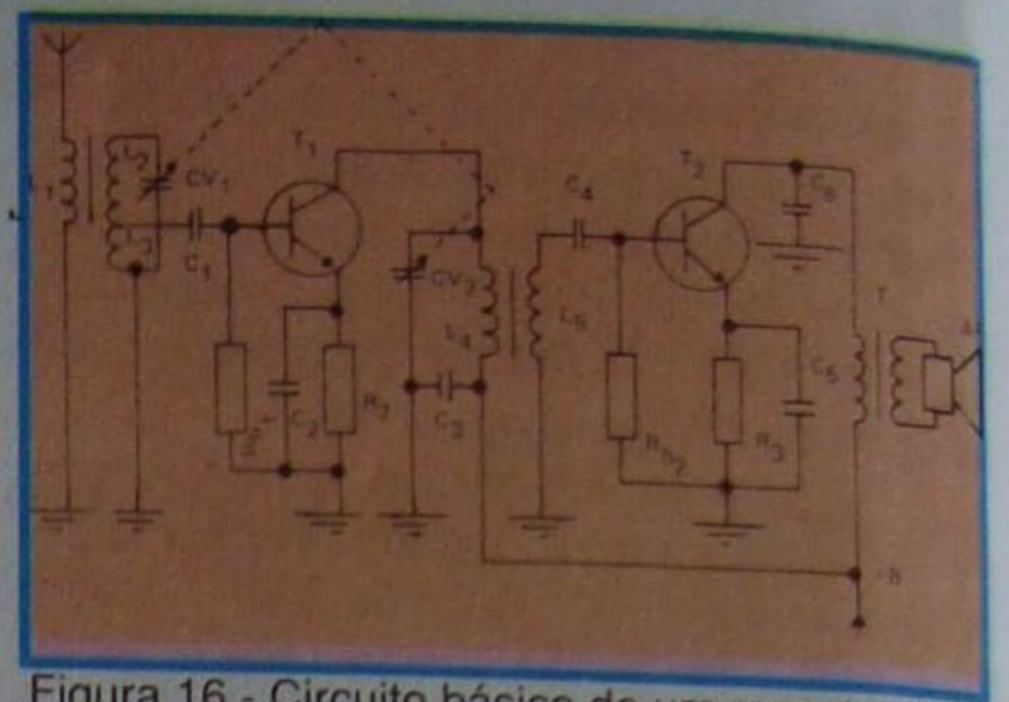



Figura 16 - Circuito básico de um receptor RFS.

$C_4$. O circuito ressonante $L_4$ $Cv_2$, estando sintonizado na mesma freqüência do sinal de entrada, evita que ela seja "escoada" para terra e oferece livre passagem à terra, às freqüências vizinhas. O transistor $T_2$ efetua a deteção e amplifica o sinal detetado, o qual se transfere ao alto-falante, através do transformador **T**, que é adaptador de impedâncias. O capacitor $C_6$ é de demodulação. Os resistores $R_2$ e $R_3$ são de polarização e $C_2$ e $C_5$ são de desacoplamento de emissor, como o aluno bem sabe.

O circuito da figura 16 é semelhante ao da figura 15. O aluno deve notar que há necessidade dos enrolamentos $L_3$ e $L_5$ para casar a alta impedância de saída com a baixa impedância de entrada dos transistores.

Um circuito um pouco mais simples de receptor RFS é aquele que mostramos na **figura 17**. Aqui, a deteção é efetuada

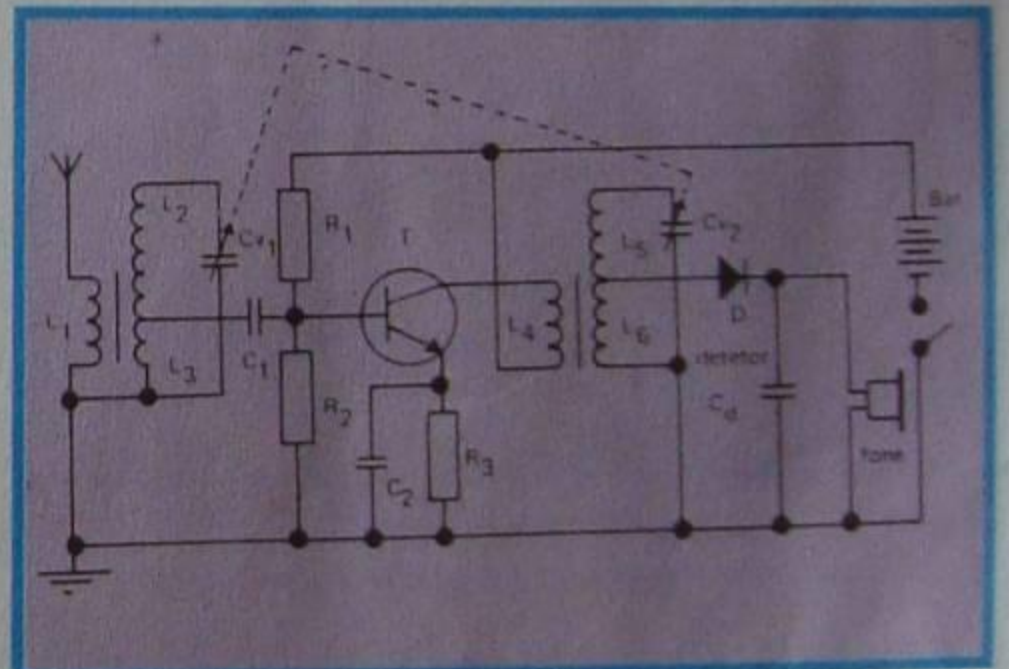



Figura 17 - Receptor RFS com deteção por diodo.

por um diodo semicondutor. Como não há amplificação no diodo, não se pode ligar diretamente um alto-falante; todavia, a potência é suficiente para acionar um fone. O detetor é do tipo clássico que estudamos no início desta lição teórica. Devido à baixa impedância do fone, que no caso é magnético, há necessidade do enrolamento $L_6$ para evitar o amortecimento excessivo do circuito sintonizado $(L_5 + L_6)$ $Cv_2$. O capacitor $C_d$ é o de demodulação. O circuito de entrada é um amplificador de RF convencional. $L_1$ é o enrolamento de antena por onde se recolhe o sinal que será sintonizado por $(L_2 + L_3)$ $Cv_1$. $L_3$ adapta a impedância de entrada do transistor; $C_1$ é o capacitor de acoplamento; $R_1$ e $R_2$ são os resistores de polarização; $C_2$ o capacitor de passagem (desacoplamento) de emissor; e $R_3$ o re-

sistor de emissor. A carga do transistor é o transformador com secundário sintonizado.

Quando se deseja maior potência de áudio, liga-se antes do fone um ou mais estágios amplificadores.

**RFS com neutralização**: como estudamos em lições anteriores, há possibilidade do circuito entrar em oscilação, uma vez que entrada e saída estão sintonizadas na mesma freqüência. Quando isso se dá, ou para evitar que isso ocorra, realimenta-se parte do sinal de saída com **fase oposta**. Essa realimentação, como o aluno sabe, é denominada de **neutralização**.

Na **figura 18**, mostramos o mesmo circuito da figura anterior, mas com neutralização efetuada pela capacitor **CN**.

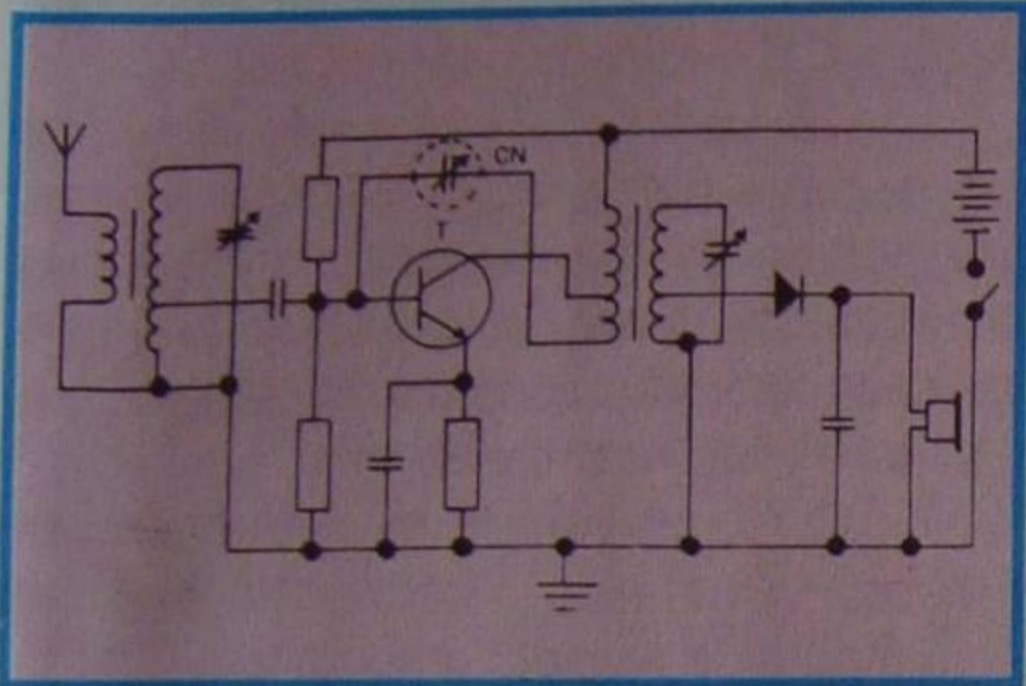



Figura 18 - Variante do circuito da figura 17.

Observe que foi necessário efetuar uma derivação em $L_4$, para se conseguir a **fase correta** para a neutralização (rotação de fase, ajustável em CN).

O amplificador de RFS, como afirmamos no início deste item, é de utilização muito restrita em razão de suas deficiências. Entretanto, ele tem uma vantagem, que é a sua boa fidelidade, conseqüência da sua baixa seletividade, o que permite a elaboração de circuitos para a recepção fiel das emissões locais em AM.

### b) Sistema de conversão de freqüência

O sistema de recepção pelo método da conversão de freqüência apresenta inúmeras vantagens sobre o de amplificação direta e, por isso, é comumente adotado. É óbvio, portanto, que este sistema mereça, de nossa parte, um pouco mais de desenvolvimento, principalmente no que se refere aos receptores super-heteródinos.

Os receptores baseados no sistema de conversão de freqüência recebem o nome de **heteródinos**.

A conversão de freqüência fundamenta-se no fenômeno conhecido como **batimento**.

Tal fenômeno é peculiar às ondas e, portanto, acontece também em óptica, acústica, etc. Quem já teve oportunidade de estar perto de um avião bimotor, de hélice, certamente deve ter notado um som na forma de "uou... uou... uou". Isto se deve a um batimento acústico. A explicação do fato pode ser exposta simplificadamente da seguinte maneira:

As hélices do motor, girando com uma determinada rotação, produzem ondas sonoras. Se as duas hélices têm velocidades próximas, as duas ondas terão freqüências diferentes, as quais se "entrechocam", produzindo a terceira onda, responsável pelo ruído audível. Este fenômeno é chamado **batimento**.

De um modo um tanto simplificado, pode-se afirmar que **batimento** é um fenômeno segundo o qual, somando-se a cada instante as amplitudes de duas ondas de freqüências diferentes, resulta uma terceira onda, cuja amplitude varia com freqüência igual à diferença das freqüências das duas ondas.

Por exemplo, suponhamos que uma oscilação de freqüência igual a 100 KHz, **baté** com uma outra de 105 KHz. Elas produzirão uma terceira oscilação, cuja freqüência é:

$$F_b = (105 - 100) \text{ KHz} = 5 \text{ KHz}$$

Esta freqüência é audível, embora as duas que lhe deram origem sejam supersônicas (inaudíveis).

Quando as **duas freqüências** são **iguais**, a de **batimento é nula**. Esta conseqüência é freqüentemente utilizada na medida de uma freqüência desconhecida e, também, para marcar pontos-chaves de calibração na curva de resposta de FI em aparelhos de televisão, como será visto no momento oportuno.

## Receptores heteródinos

O fenômeno do batimento sugere, de imediato, a possibilidade de transformar ondas de freqüência elevada em oscilações de baixa freqüência.É natural, portanto, que ele tivesse sido utilizado para a recepção de ondas de rádio.

Foram concebidos vários circuitos para recepção, baseados na conversão de freqüências, como o regenerativo e super-regenerativo, já mostrados ao aluno. Muitos têm apenas interesse histórico, contudo, alguns ainda são experimentados por amadores para a recepção de ondas curtas. Dentre os receptores por conversão de freqüência, os de maior interesse são:

1º) **Autódino**: Quando o próprio detetor é utilizado para gerar a freqüência de oscilador para o batimento, o receptor é chamado de autódino. Ele se presta à recepção de sinais telegráficos transmitidos pelo sistema de portadora interrompida.

Para que o aluno entenda o funcionamento do receptor, vamos, resumidamente, explicar o sistema de transmissão.

### Sinais Morse

Para a transmissão de sinais telegráficos é empregada uma codificação idealizada por Morse e que consiste em uma combinação de pontos e traços. O aparelho receptor registra, em papel, os pontos e traços recebidos, os quais são interpretados pelo operador. O processo requer ligação direta, através de fios, entre emissor e receptor.

Com o advento do rádio desenvolveu-se um sistema de radiotelegrafia, no qual os sinais de Morse são transmitidos pelas ondas radioelétricas. É chamado **telégrafo sem fio.**

Na recepção, os sinais telegráficos são transformados em tons de duração diferente e interpretados pelo radiotelegrafista.

O diagrama mais simples de um transmissor de radiotelegrafia é aquele que mostramos na **figura 19**. Trata-se de um oscilador que possui um dispositivo,

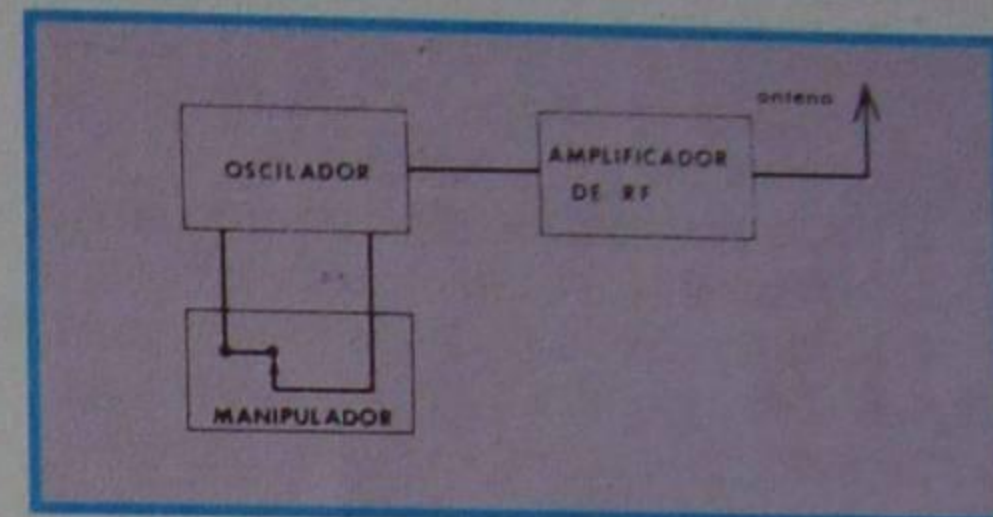



Figura 19 - Diagrama em blocos de um simples transmissor de radiotelegrafia.

denominado **manipulador**, e nada mais é que uma chave com mola que permite interromper ou acionar o oscilador através da pressão dos dedos do operador, seguido de um ou mais estágios amplificadores de RF.

Admitamos que o oscilador esteja acionado. Então, na antena aparece uma onda de freqüência determinada pelo circuito ressonante do oscilador e de amplitude constante, como mostramos na **figura 20**. Quando o operador aciona o manipulador, ele interrompe a oscilação em

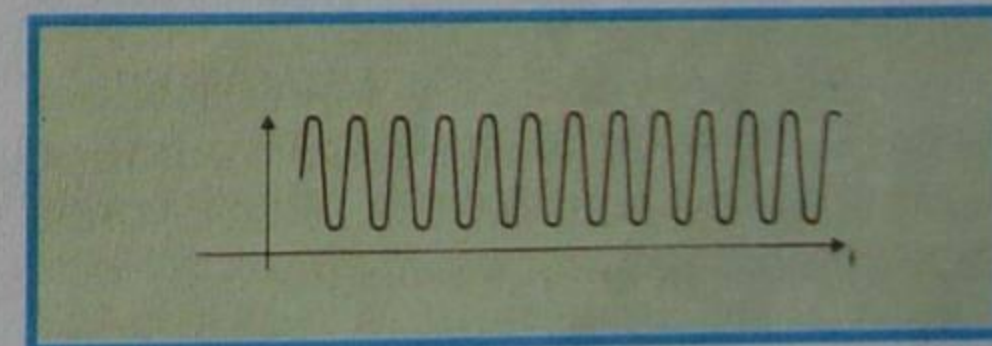



Figura 20 - Forma de onda gerada no oscilador.

intervalos de tempo desiguais (o menor correspondendo ao ponto e o maior ao traço) e a onda toma a forma que mostramos na **figura 21**. Como se pode observar a amplitude do sinal permanece

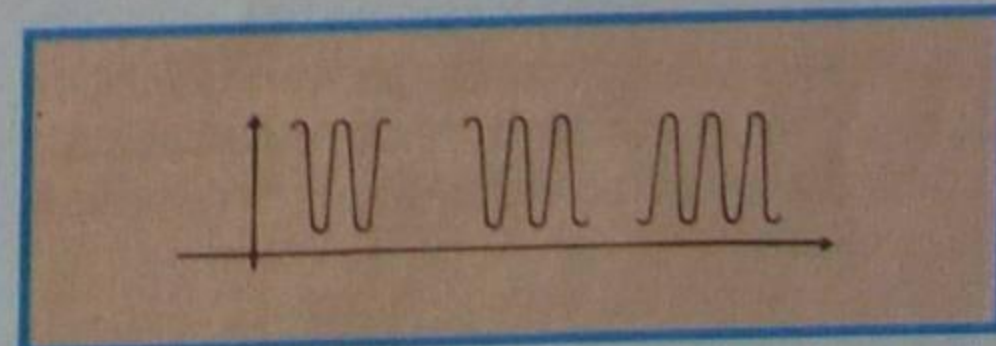



Figura 21 - Intervalos provocados pelo manipulador.

constante; portanto, a transmissão não é de amplitude modulada.

Suponhamos agora que a deteção do sinal se faça através de um diodo. Como o diodo é um detetor de envoltória, a forma de onda detetada tem o aspecto mostrado na **figura 22** e não reproduzirá nada no fone ou alto-falante.

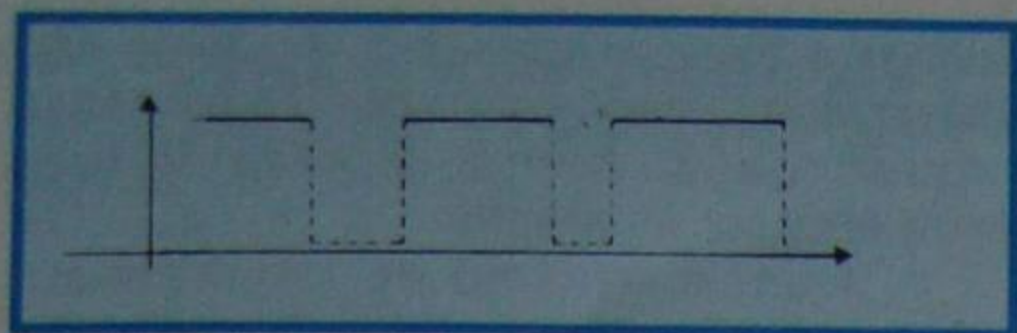



Figura 22 - Aspecto da forma de onda detetada.

Há, portanto, necessidade de outro tipo de detetor. Aqui entra a utilidade do receptor autódino.

Esse receptor consta de um circuito sintonizado, que seleciona a emissão de freqüência $f_o$; um oscilador, chamado **oscilador local** que gera uma freqüência próxima de $f_o$, freqüência essa que chamaremos $f_1$; e de um detetor seguido, opcionalmente, de um amplificador de áudio.

A recepção dos sinais radiotelegráficos dá-se do seguinte modo:

A onda interrompida de freqüência $f_o$, da **figura 23a**, recebida pela antena, é misturada com uma onda de freqüência $f_1$ (**figura 23b**), gerada pelo oscilador local. Do batimento da onda de freqüência $f_o$ com a de freqüência $f_1$ do oscilador local, resulta uma terceira onda de freqüência $f_2$, **igual à diferença entre as duas**. A forma da onda de batimento é àquela que mostramos na **figura 23c**.

Como o aluno nota, a onda de batimento agora está modulada em amplitude e, portanto, pode sofrer uma deteção de envoltória. Fazendo-a passar por um diodo, ela ficará com o aspecto mostrado na **figura 23d**.

Fazendo-se com que as duas oscilações, isto é, a transmitida e a gerada no oscilador local, tenham freqüências bem próximas, a onda de batimento cairá dentro da faixa de áudio e será reproduzida pelo alto-falante com tons curtos e rápidos de mesma freqüência.

Por exemplo, se a transmissão é feita em 15 MHz e sintonizamos o oscilador local em 15,0004 MHz, a onda de batimento terá freqüência de:

$$15{,}0004 - 15{,}0000 = 0{,}0004 \text{ MHz}$$

ou seja, 400 Hz, que é tom bastante agradável ao ouvido.

Na **figura 24** apresentamos um diagrama básico de um receptor autódino.

2º) **Super-heteródino**: O receptor super-heteródino é atualmente o de maior divulgação em todo o mundo, razão pela qual trataremos do assunto, com detalhes, na próxima lição.

### c) Sincródino

O diagrama de blocos de um receptor do tipo sincródino está indicado na **figura 25** como se pode verificar, o receptor consta de um estágio de entrada de faixa larga, um amplificador de RF, um detetor, um oscilador, um filtro "passa-baixas" e o amplificador de áudio.

O único estágio sintonizado é o oscilador. Aqui, o sinal modulado de entrada é misturado com um sinal não modulado de mesma freqüência. O sinal de saída do detetor, consistindo na modulação da onda de batimento mais as altas freqüências das emissoras adjacentes, alimentará um amplificador de áudio através de um filtro passa-baixas, que, evidentemente, eliminará as ondas de RF.

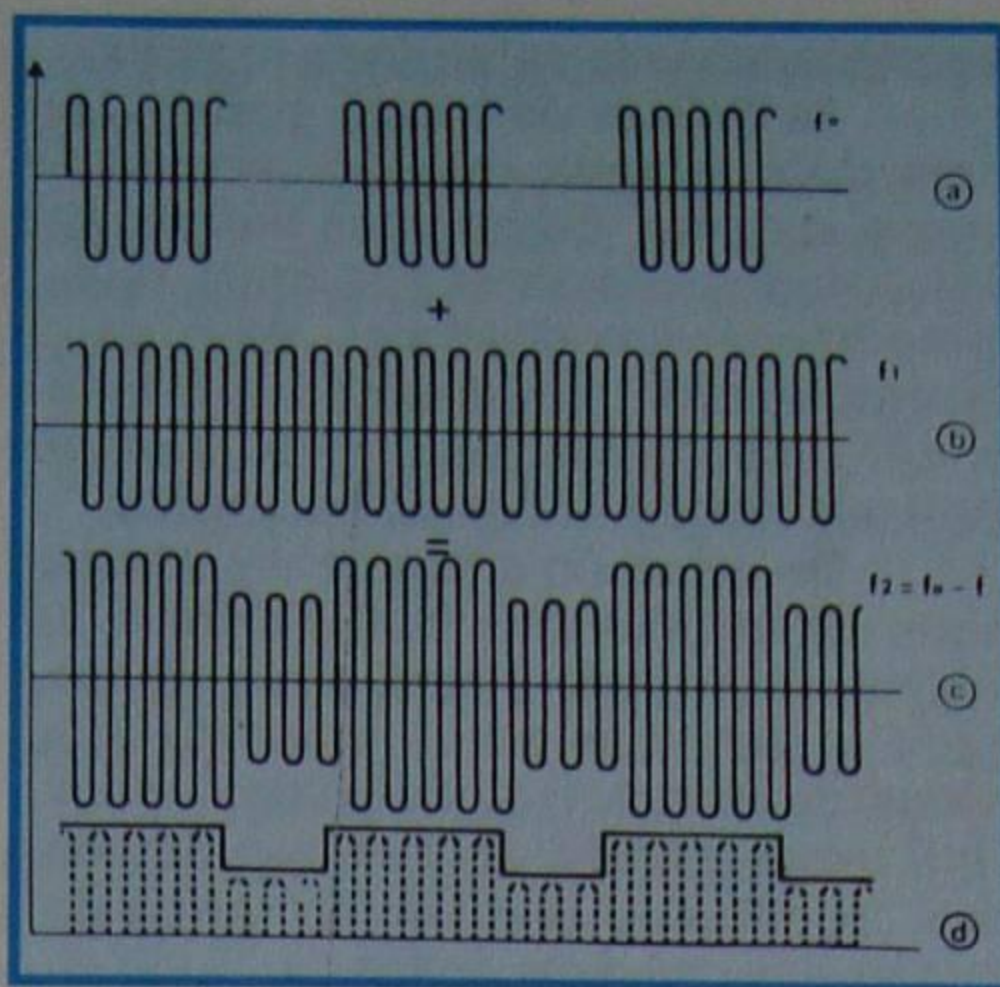



Figura 23 - Formas de onda para análise.

A seletividade do sincródino depende exclusivamente do circuito oscilador.

Uma vantagem do receptor sincródino é que ele só funciona com a sintonia correta; fora disso não há som.

Uma desvantagem é que o "assopro" da heterodinagem é ouvido quando se sintoniza a emissora. Todavia, esse inconveniente pode ser contornado fazendo-se a sintonia por botoneiras (push-button).

### d) Receptor a reflexão

Diz-se que há reflexão quando um mesmo amplificador é utilizado para amplificar, simultaneamente, freqüências diferentes.

Na **figura 26**, mostramos um diagrama de princípio de um receptor a reflexão do tipo de radiofreqüência sintonizada.

As emissoras recolhidas na antena são sintonizadas pelo circuito ressonante $L_2C_1$ e amplificadas em RF pelo transistor $T_1$. O sinal amplificado é recolhido em um transformador de RF e é demodulado por um diodo ligado ao secundário do transformador. O sinal demodulado, ao invés de ser aplicado diretamente a um transdutor (fone) ou amplificador de áudio, volta à base do transistor através do transformador de áudio. Esse sinal é, então, amplificado pelo transistor e será recolhido no coletor, onde se ligará diretamente um fone ou um amplificador de áudio.

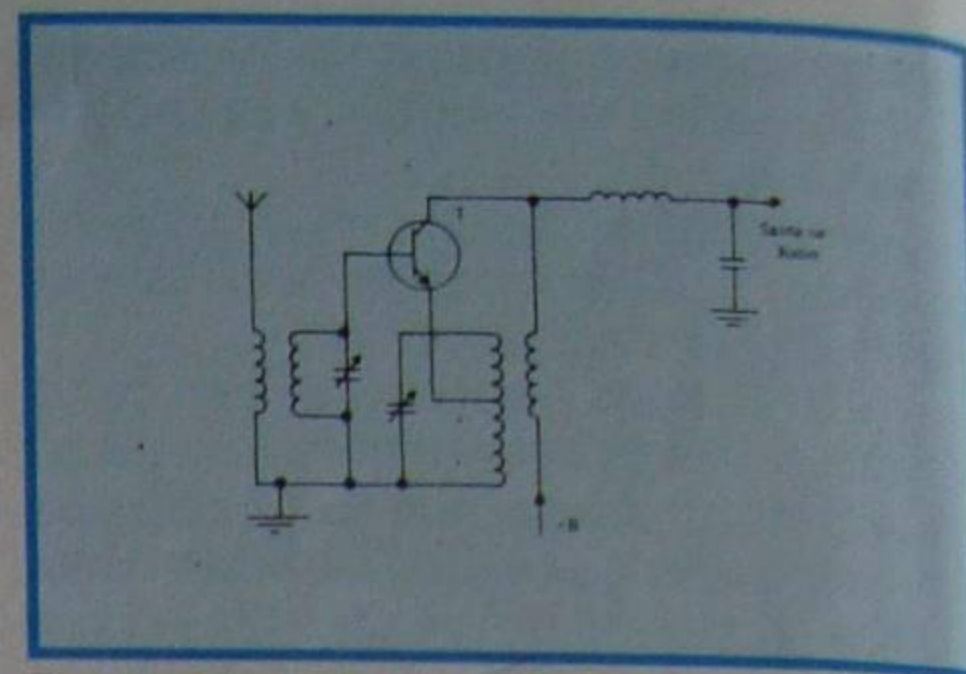



Figura 24 - Circuito básico de um receptor autódino.

O capacitor $C_d$ é o de demodulação e CN o capacitor de neutralização.

Convém notar que a reflexão não é um sistema de deteção; é simplesmente um método de amplificar duas freqüências distintas. Deste modo a reflexão pode ser aplicada a outros tipos de receptores, que não o RFS de nosso exemplo.

As vantagens e desvantagens do receptor a reflexão são aquelas próprias do sistema de recepção adotado.

### e) Receptores regenerativo e super-regenerativo

Os receptores regenerativos e super-regenerativos nada mais são que detetores desse tipo, seguidos de amplificadores de áudio.

Na lição prática, indicaremos a construção de um receptor super-regenerativo transistorizado, em seus detalhes, para que o aluno possa exercitar-se nesse método de recepção.

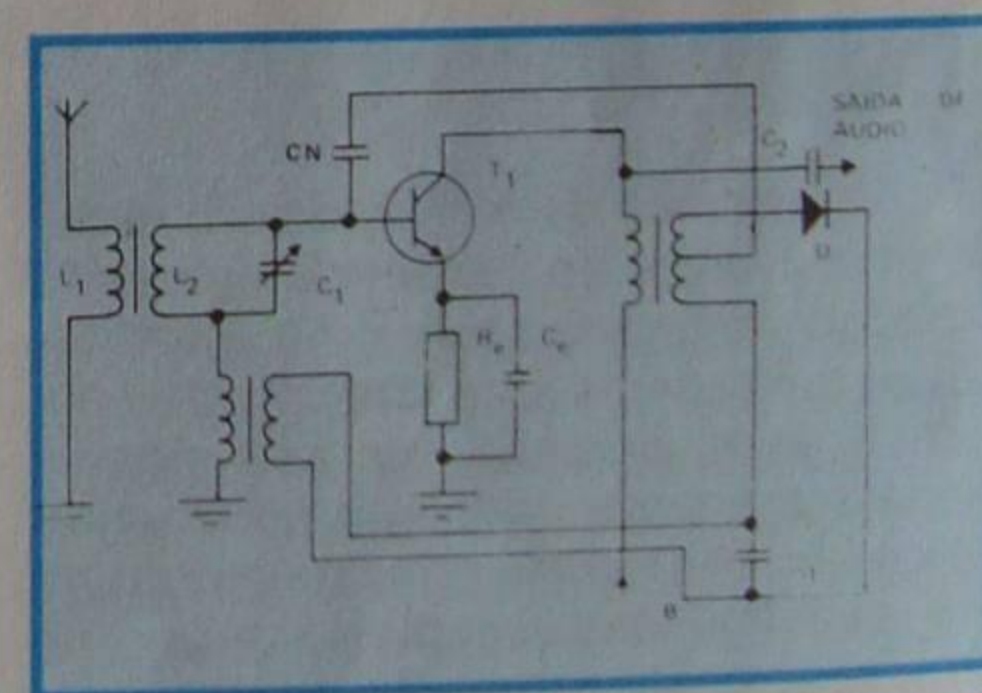



Figura 26 - Circuito básico de um receptor por reflexão.

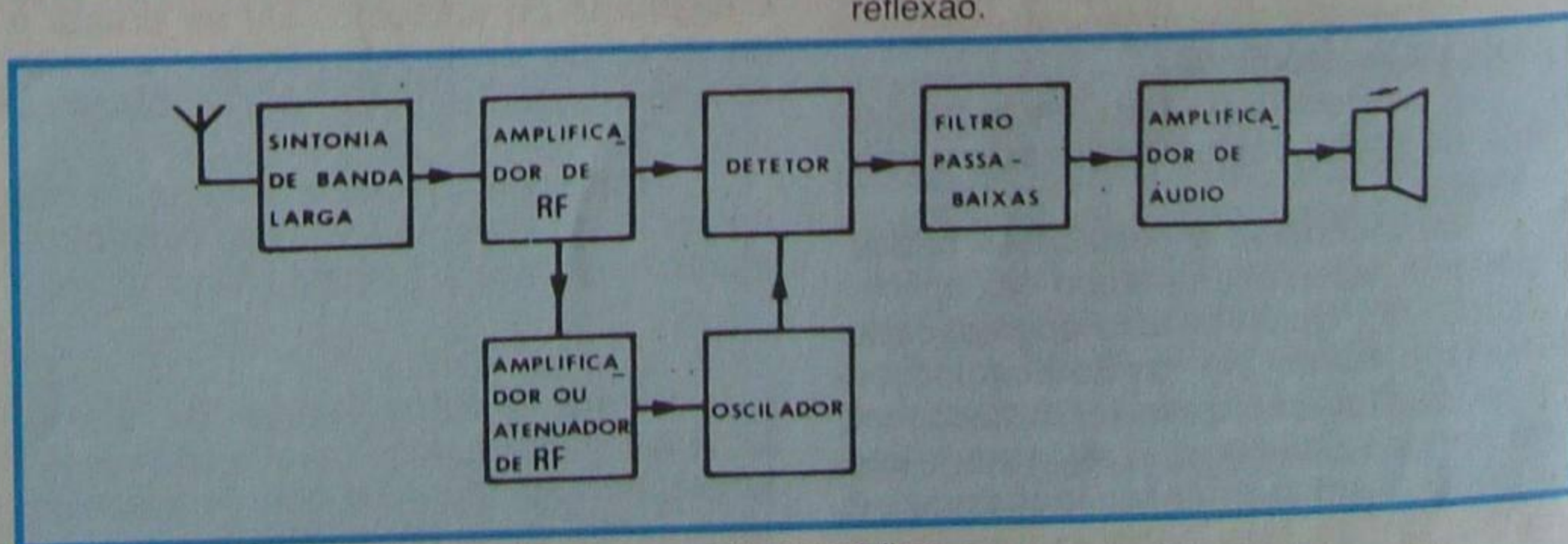



Figura 25 - Diagrama de blocos de um receptor sincródino.

# CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO-TV
# 15ª LIÇÃO PRÁTICA
# APLICAÇÃO DOS DETETORES E RECEPTORES

## Introdução

Como se mostrou na lição teórica, o detetor é o dispositivo que retira as informações úteis transportadas pela onda da radiofreqüência. Para nosso curso interessam somente as informações de áudio (som) e as de vídeo (imagem). Nesta lição, vamos apresentar ao aluno alguns circuitos práticos que permitem receber as emissoras de radiodifusão mais próximas e extrair, de suas ondas moduladas em amplitude, as informações sonoras.

Como se trata de dispositivos simples e elementares, seus resultados são apenas satisfatórios. Mesmo assim, aconselhamos o aluno a que construa um deles, já que se trata do primeiro contato efetivo (nestas lições) com o problema prático da recepção das ondas de rádio.

## I - Antena

O primeiro elo de ligação entre a onda de RF e o receptor é a antena; portanto, um dos fatores mais importantes para assegurar recepção satisfatória consiste na eleição e instalação de antena adequada.

A função da antena receptora é extrair a energia eletromagnética do espaço que a circunda e transferir essa energia ao radiorreceptor. A antena transmissora, evidentemente, tem função inversa.

Em geral, uma antena apresenta características semelhantes, que opere como transmissora ou receptora, o que leva a estudá-la como transmissora e estender as conclusões obtidas às receptoras. Neste nosso primeiro contato com o assunto, poderemos considerá-la como transmissora ou receptora, segundo as conveniências didáticas.

O que é antena?

**Pode-se afirmar que antena é todo elemento ou dispositivo capaz de irradiar e receber ondas eletromagnéticas.**

Ao estudar os osciladores, vimos que no circuito ressonante há formação de campo elétrico, no capacitor, e magnético, no indutor; portanto, gera-se aí uma onda eletromagnética. Essa onda fica confinada no circuito LC e tem dificuldade de se libertar do circuito. Se este for ligado a uma linha paralela, aberta (linha de transmissão), como mostramos na **figura 27**, ainda assim o campo eletromagnético não se desgarrará

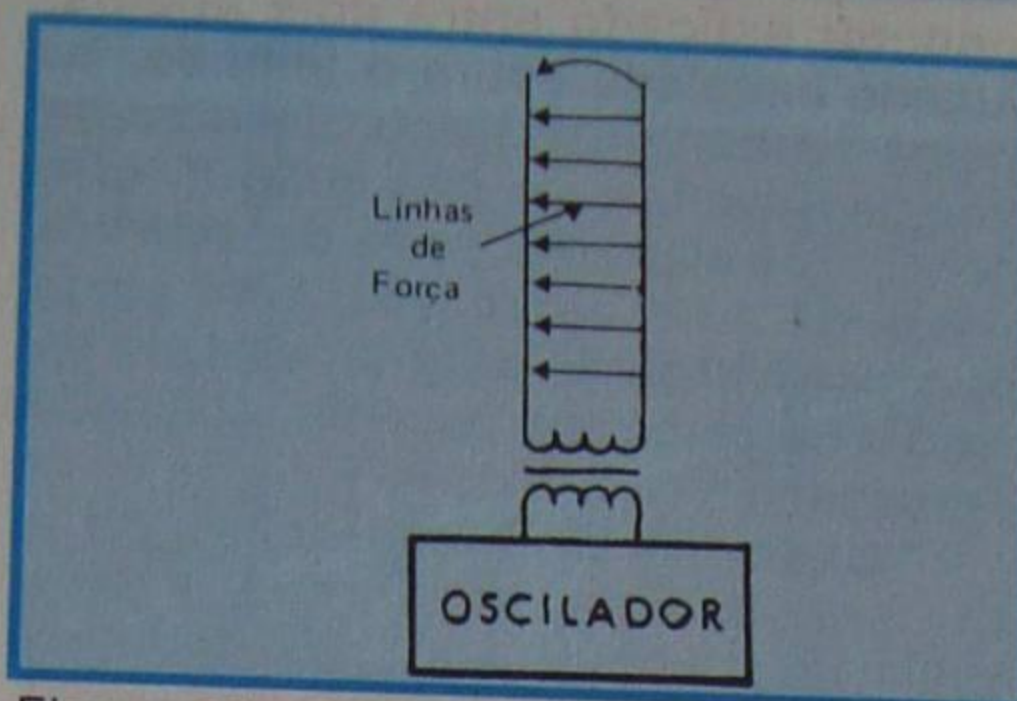



Figura 27 - Pequeno desprendimento das linhas de força.

com facilidade, porque a linha pode ser considerada como formada por indutores, capacitores e resistores infinitamente próximos pois, como aprendemos nas primeiras lições, qualquer condutor apresenta **sempre** resistência, indutância e capacitância. Entretanto, nesse arranjo da figura 27, observamos que as ondas apresentam certa tendência a escaparem pela extremidade aberta encurvando aí suas linhas de força.

Abrindo um pouco a extremidade da linha de transmissão, notamos que há **maior desprendimento** de linhas de força, como mostra a **figura 28**.

Se prosseguirmos abrindo a linha de transmissão, observaremos que há maior desprendimento de linhas de força,

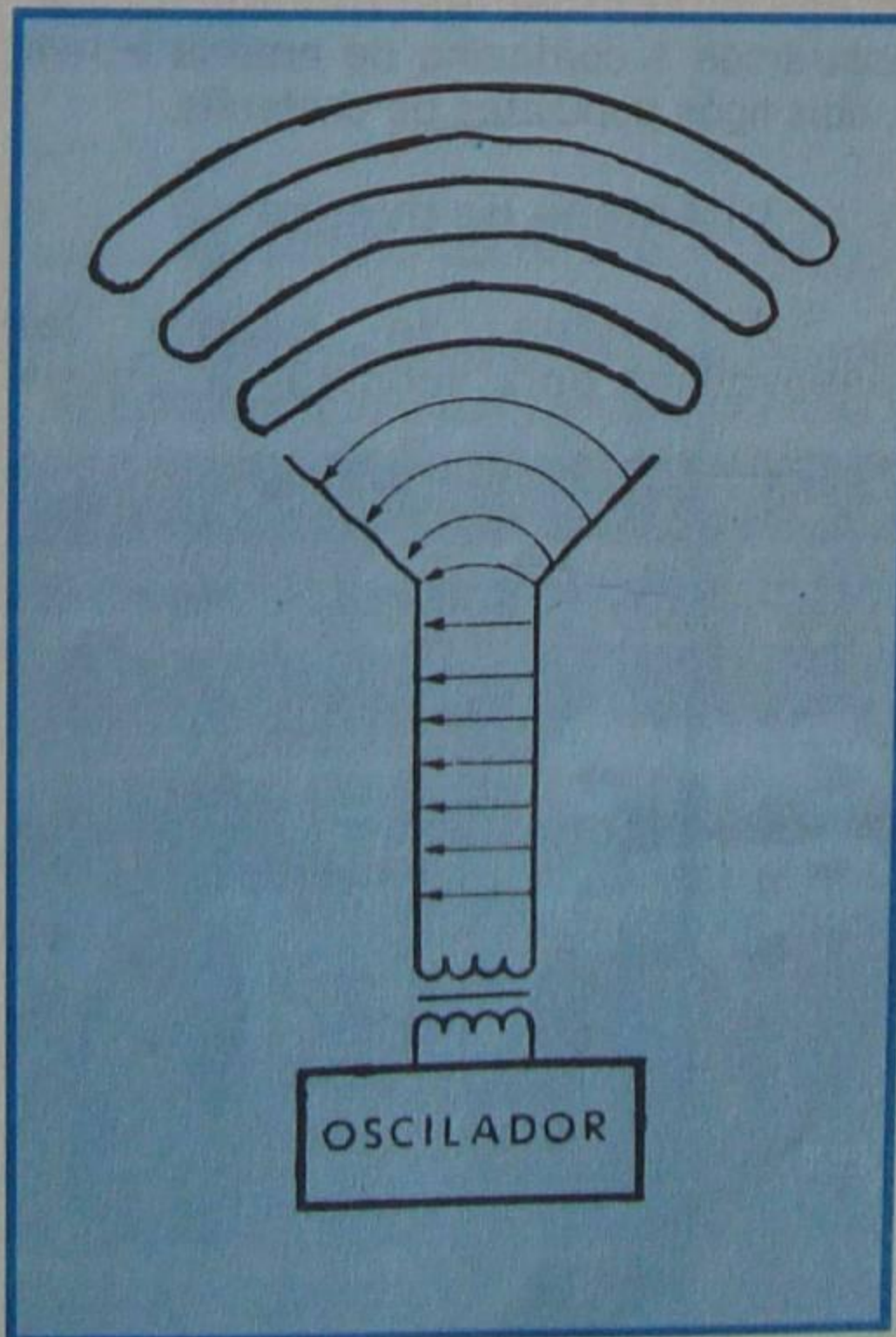



Figura 28 - Maior desprendimento das linhas de força.

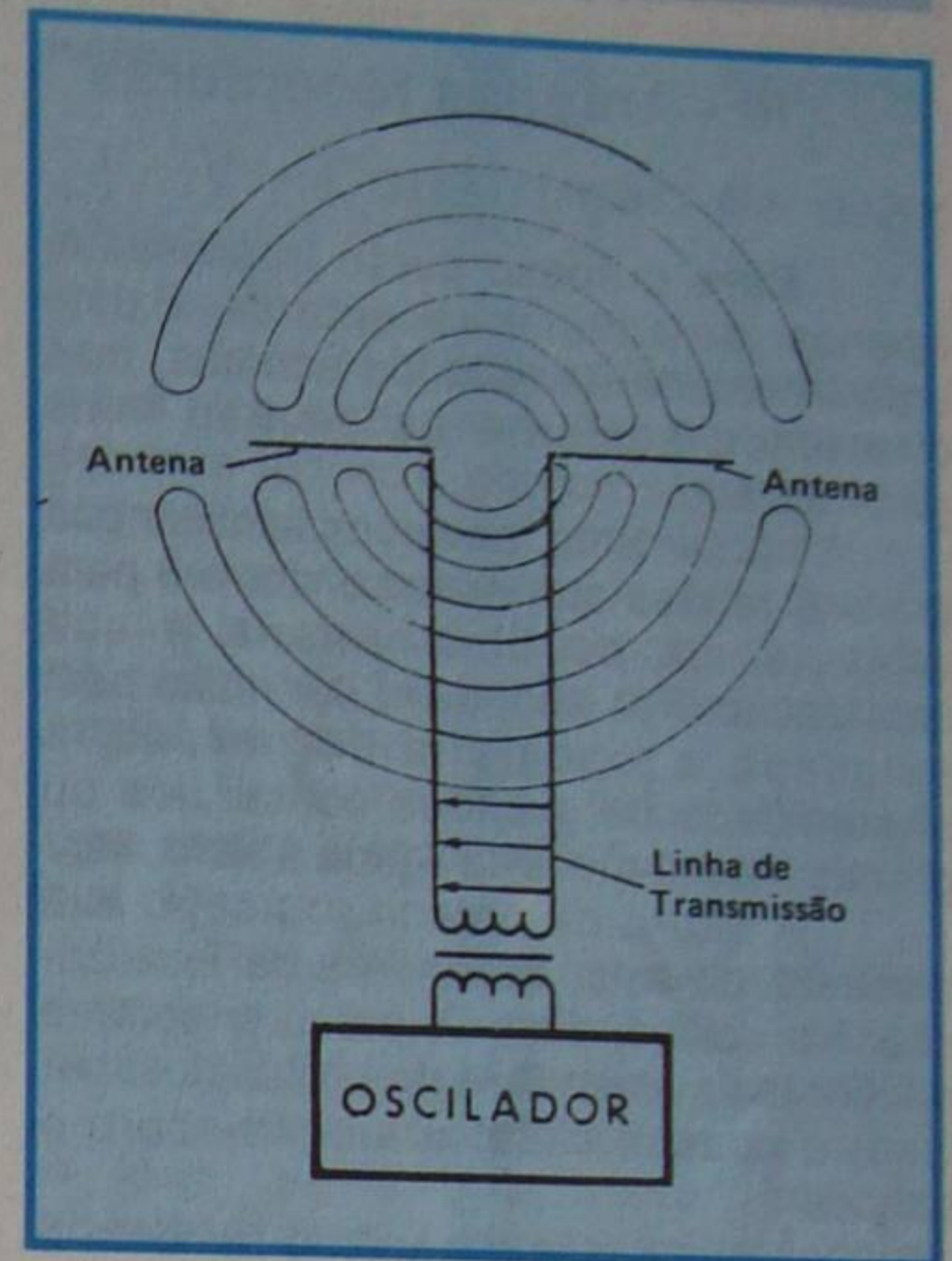



Figura 29 - Grande desprendimento das linhas de força.

ou seja, maior irradiação quando as extremidades da linha estão dobradas em ângulo de 90° como mostramos na **figura 29**. A energia irradiada é uma onda que se move com a velocidade da luz (aproximadamente 300.000 Km/seg.).

Chamamos de **antena** a parte que foi dobrada em ângulo de 90°, em nosso exemplo. A linha que liga a antena ao oscilador é chamada de **linha de transmissão**.

Quando uma antena é colocada onde existe campo eletromagnético variável, nela se induz uma diferença de potencial em seus terminais. Esta antena será chamada de **receptora**.

## II - Antena ressonante e não-ressonante

### a) Ressonante

Quando o comprimento físico da antena é múltiplo do comprimento de onda, dizemos que ela é **ressonante**. Neste caso, existe uma freqüência principal para a qual a antena irradiará maior energia, se for transmissora ou receberá maior energia, se for receptora.

### b) Não-ressonante

A antena não-ressonante se caracteriza por apresentar uma faixa de fre-

qüência de utilização, e não apenas uma freqüência, como acontece com a ressonante.

A antena ressonante é utilizada nas estações transmissoras, a fim de se conseguir a maior potência irradiada e pelo fato de que a freqüência é única. Na recepção, a não ser em casos especiais, a antena ressonante é inadequada, pois se trata de receber sinais dos mais variados comprimentos de onda.

## III - Antenas receptoras

Para o nosso curso interessam, apenas, as antenas receptoras. Existe uma infinidade de tipos de antenas, mas citaremos somente as de uso mais generalizado.

Inicialmente, devemos lembrar que um dos fatores que mais concorrem para a eficiência de uma antena é sua localização. Por isso, deve ser muito bem estudada a topografia do terreno, a proximidade de grandes obstáculos ou grande massa metálica ligada à terra, etc.

A altura da antena, ou seja, sua distância do solo, dependerá da localização. Na prática, deve-se procurar sempre o lugar mais alto e livre de obstáculos; por isso, é comum situar a antena sobre o telhado.

A orientação da antena também é importante. De fato, a potência recebida é a maior, quando a antena receptora é **paralela** à transmissora, e o máximo acontece quando são perpendiculares à semireta que une os centros das duas antenas. Diante disso, é fácil entender que a antena receptora não tem o mesmo rendimento para todas as emissoras; por isso, é conveniente procurar a melhor orientação, ou seja, aquela em que há captação de **maior número de emissoras**. Infelizmente, isso nem sempre é possível, devido à exigüidade do espaço, e o que se faz é localizar a antena sobre o telhado, seguindo a cumeeira de maior extensão, sem maiores preocupações sobre a orientação. Entretanto, essa orientação deverá ser evitada se a antena correr próxima e paralelamente à linha de transmissão da rede de energia elétrica, a qual induz o zumbido característico (ronco) na antena. Na **figura 30**, mostramos as posições certa e errada.

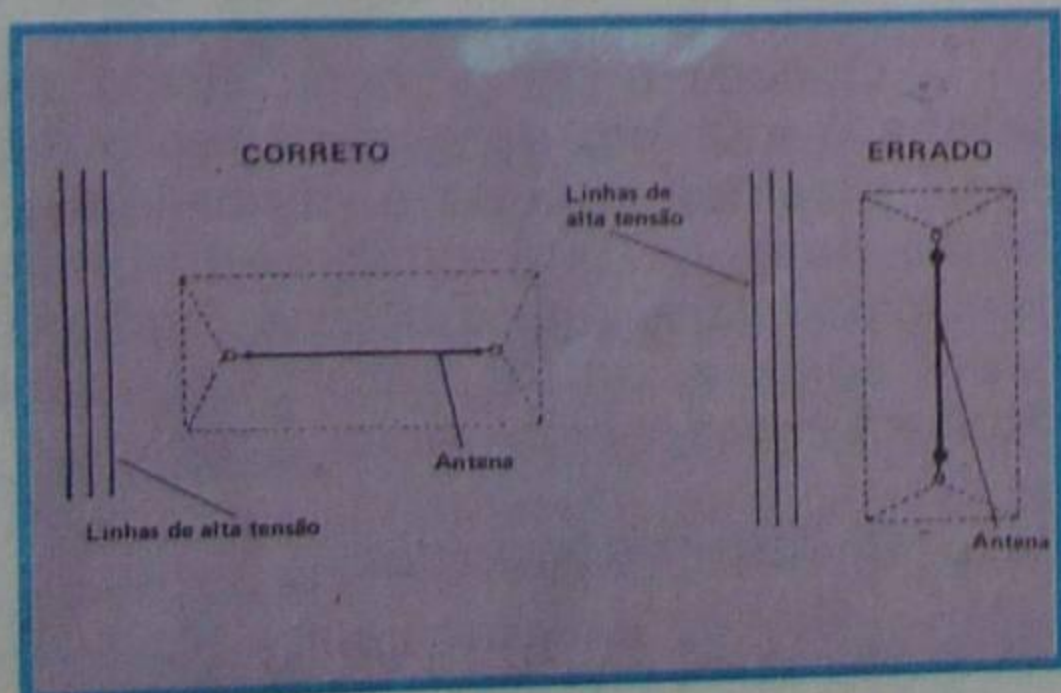



Figura 30 - Maneira de orientar a antena.

## IV - Tipos de antenas receptoras

Dentre a enorme variedade de antenas receptoras utilizadas na recepção de ondas médias e curtas, as mais comuns são:

### a) Antena horizontal

Esse tipo de antena consta de um condutor esticado entre dois apoios. Quando instalada sobre o telhado, os apoios costumam ser dois mastros de ferro, geralmente cano d'água de 1", com 1,5 a 2 m de altura. Na ponta dos mastros prende-se o fio de antena, conhecido como **cordoalha de antena**, através de isolador de porcelana ou vidro, chamado de **castanha**.

Usam-se duas castanhas para cada extremidade, sendo que a mais próxima do mastro deve guardar dele uma distância não inferior a 0,5 m.

O fio que liga a antena ao receptor recebe o nome de **fio de descida** de antena. Trata-se de um condutor flexível (cabinho) de muito boa isolação. Este fio deve correr o mais afastado possível das paredes. No ponto onde ele deve penetrar na parede, instala-se um isolador de porcelana, conhecido como **cachimbo**, com a boca virada para baixo, a fim de não permitir a entrada de água, em caso de chuva. Na falta do cachimbo de porcelana, pode-se usar um pedaço de tubo plástico, como os eletrodutos utilizados nas instalações elétricas. A curva é feita aquecendo-se o eletroduto.

O fio de descida pode ser ligado no centro da antena, ou em uma de suas extremidades.

Na **figura 31**, mostramos o aspecto de alguns dos componentes da antena citados anteriormente. Em **a**, mostramos a cordoalha de antena e, em **b**, dois tipos populares de castanha.

### b) Antena de quadro

A antena de quadro foi desenvolvida para substituir a antena externa. Consiste de uma bobina de grande dimensão colocada no interior (ou sobre) o receptor. A antena de quadro é sintonizada por um capacitor variável. O conjunto (indutância da antena e capacitor variável) constitui o circuito de sintonia de receptor e vai ligado, diretamente, à base do transistor de entrada (amplificador de RF ou oscilador-misturador). Na **figura 32**, mostramos o esquema de princípio da recepção por antena de quadro.

Figura 31 - Cordoalhas e castanhas.

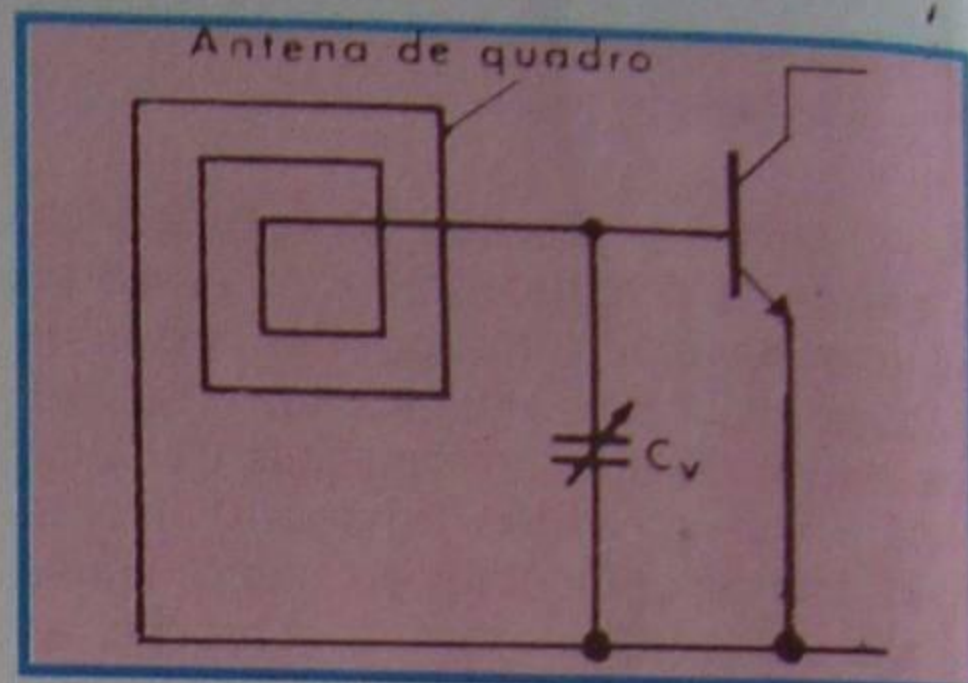



Figura 32 - Princípio de recepção por antena de quadro.

Na **figura 33**, mostramos o aspecto mais comum da antena de quadro. Nos meios técnicos, a antena de quadro também é conhecida pela sua denominação em inglês, que é "loop" (lê-se "lup").

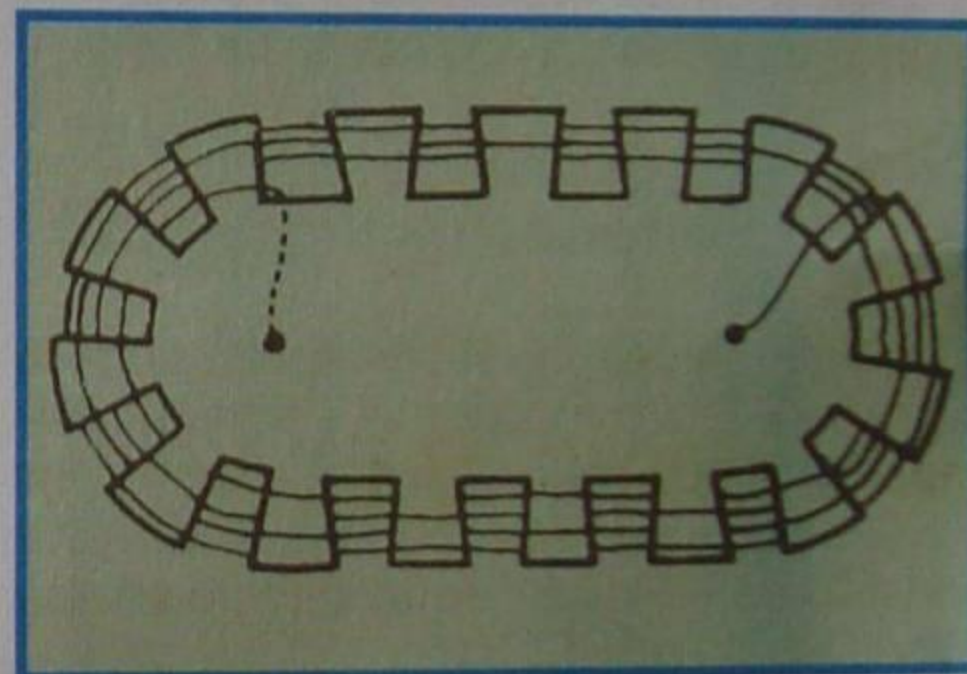



Figura 33 - Aspecto de uma antena de quadro.

A antena de quadro é altamente direcional, o que significa que existe uma determinada orientação em relação à emissora sintonizada para a qual a energia captada é máxima. Essa orientação corresponde àquela em que o plano da antena é perpendicular à direção do emissor, como ilustramos em **a** da **figura 34**. Em **b**, mostramos a orientação correspondente à menor captação.

Devido à sua direcionalidade, a antena de quadro é utilizada em **radiogoniometria**, ou seja, a medida de ângulos através das ondas radioelétricas, o que possibilita a localização de uma transmissão (processo de triangulação).

As vantagens de uma antena de quadro são:

- Evita o trabalho da instalação da antena externa.
- Aumenta a seletividade, em primeiro lugar porque, sendo construída com condutor de baixa resistência, apresenta Q elevado; e segundo, porque permite orientação para máxima rejeição da emissora interferente, desde que, é claro, a emissora que nos interessa

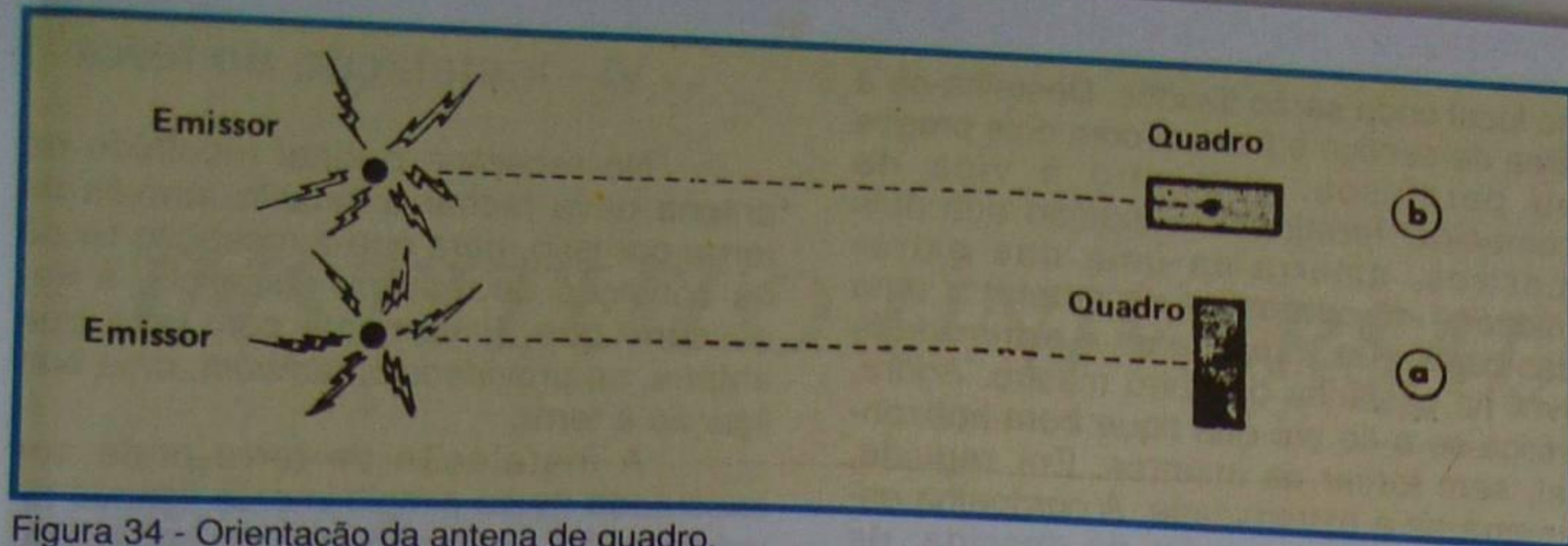



Figura 34 - Orientação da antena de quadro.

receber e a interferente não estejam na mesma direção.

- Capta menos ruído que a antena externa.

A antena de quadro tem, também, suas desvantagens, tais como:

- É volumosa.
- Tem menor sensibilidade que a antena externa.
- Para aproveitar sua direcionalidade é preciso fazê-la móvel em torno de um eixo vertical, o que é, quase sempre, impraticável nos receptores comerciais. Nestes, a antena de quadro é fixa e a orientação se consegue girando o aparelho todo, o que constitui um grande inconveniente.

Confrontando as vantagens e desvantagens da antena de quadro, chega-se a conclusão de que as últimas suplantam, as primeiras. Mesmo assim, ela foi muito utilizada em receptores de uma faixa (ondas médias), projetados para recepção de emissoras próximas, como são os chamados **rádios de cabeceira.**

### c) Antena vertical

Também se pode usar antena vertical, seja na transmissão ou recepção de ondas radioelétricas. Para a recepção, a antena vertical tem duas desvantagens em relação à horizontal:

- Dificuldades construtivas. De fato, a sustentação de uma haste vertical cria mais problemas práticos que à horizontal.
- É muito mais sensível a ruídos atmosféricos e industriais que a antena horizontal.

A antena vertical tem sobre a horizontal a vantagem de ocupar menos espaço.

A antena vertical é largamente utilizada em auto-rádios e em receptores portáteis, para a faixa de ondas curtas. A maioria dessas antenas consta de várias secções diferentes de tubo de latão ou alumínio, de modo que um encaixe no outro. Por causa disso, são chamadas de antenas **telescópicas**.

No caso da recepção dentro do carro, não se pode colocar a antena no interior do veículo, porque sua carroceria metálica atua como blindagem, impedindo que as ondas eletromagnéticas penetrem em seu interior.

Figura 35 - Antena telescópica para rádio portátil.

Na **figura 35**, mostramos o aspecto físico de uma antena telescópica para receptor portátil e, na **figura 36** para auto-rádio, respectivamente.

Figura 36 - Antena para auto-rádio.

### d) Antena de ferrite

Bastante empregada em receptores portáteis transistorizados é conhecida como **antena de ferrite**. Na realidade, trata-se de uma antena de quadro cujas dimensões foi possível reduzir enormemente, pelo emprego de um núcleo de material ferromagnético de elevada permeabilidade, que é o ferrite.

Essa antena apresenta todas as vantagens da antena de quadro descrita (loop), como: direcionalidade, alta seletividade (alto Q), baixa captação de ruído, além de ser relativamente pequena e mais sensível que a antena de quadro. Como esta última, a antena de ferrite é usada para a recepção de ondas médias, enquanto que para ondas curtas e FM se utiliza, normalmente, a antena telescópica. Na **figura 37**, mostramos um dos tipos de antena de ferrite que mais se encontra na prática.

Figura 37 - Bobina de antena com núcleo de ferrite.

## V - Construção de uma antena

Após essa breve descrição das antenas receptoras, onde não entramos em detalhes teóricos, porque são bem mais complexos do que se pode imaginar, vamos descrever a construção de uma antena que se prestará à recepção das ondas de rádio nas faixas de ondas médias, tropicais e curtas.

A primeira etapa na construção de uma antena é escolher o tipo e determinar sua dimensão.

Por todas as razões expostas anteriormente, o tipo de antena mais adequado é a horizontal; logo, será esse o escolhido.

Quanto ao comprimento da antena, o ideal seria que fosse igual ao comprimento de onda que se vai receber; entretanto, como é impossível construir uma antena para cada comprimento de onda, o que se costuma fazer é dimensionar a antena ressonante na **freqüência média da faixa de ondas curtas.** Esta prática é justificada pelo fato de a potência, na antena receptora, ser menor para as freqüências mais altas. Expliquemos: se houver dois transmissores de mesma potência e a mesma distância de uma antena, esta receberá maior potência do transmissor de mais alto comprimento de onda, ou seja, de mais baixa freqüência.

Sendo assim, para faixa de ondas curtas de 6 a 18 MHz, vamos fazer o comprimento da antena igual ao comprimento da onda da metade da faixa, ou seja:

$$\frac{6 + 18}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ MHz}$$

O comprimento de onda é, como o aluno sabe:

$$\lambda = \frac{300.000 \text{ Km/seg}}{12.000.000 \text{ Hz}} = \frac{3}{120} = 0{,}025 \text{ Km}$$

ou seja, 25 metros.

A nossa antena deverá ter, portanto, 25 metros no total, isto é contando-se a parte horizontal e o fio de descida.

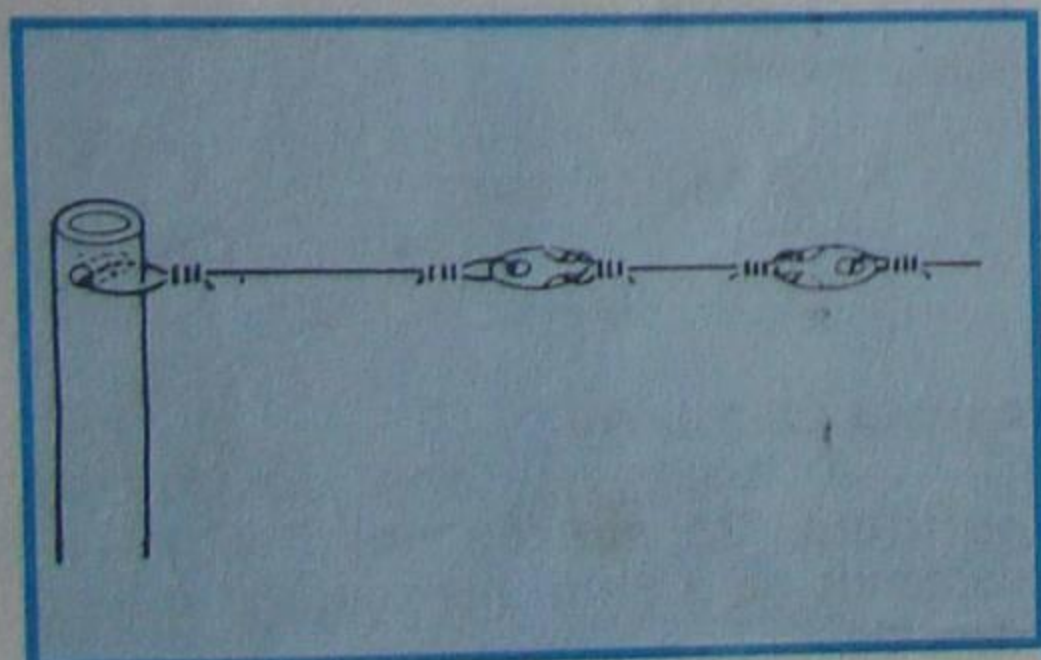
Admitamos que 5 metros sejam suficientes para ligar a antena ao receptor: então, a parte horizontal deverá ter 20 metros.

A próxima etapa é a escolha do local a ser instalada a antena. Para tanto, procura-se a área mais livre possível de obstáculos. Admitamos, por ser a situação mais freqüente, que essa área seja a do telhado da residência. Aí ergueremos a antena.

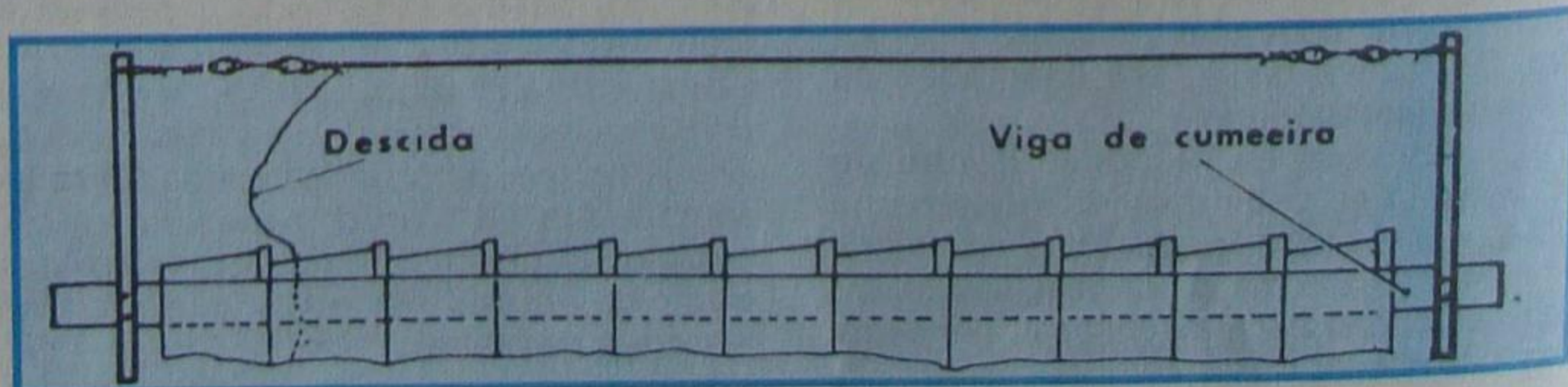
Agora, vamos a uma loja de material elétrico e adquirimos a cordoalha de antena, fio de descida, cachimbo, ou um pedaço de eletroduto de plástico, e os isoladores de porcelana (castanha). Finalmente em uma loja de material para encanador, adquirimos dois pedaços de cano galvanizado de 1", com cerca de 2,5 m cada um.

Uma vez adquirido o material, a etapa seguinte é a montagem da antena. Para tanto, com o material no chão, preparamos os mastros de sustentação da antena. Inicialmente, é aconselhável fazer 3 furos diametrais, sendo 1 na extremidade onde se fixará o fio da antena e dois onde se fixará o mastro, na viga de cumeeira. O primeiro furo deve ser feito a cerca de 5 cm da extremidade e os outros dois, na altura adequada à altura do mastro. Por exemplo, se o mastro vai ter 2 m acima do telhado, a 2,10 m mais ou menos, contando da ponta onde se fixará o fio de antena, faz-se um furo. Agora, a cerca de 7 cm desse faz-se outro. Estes dois furos servirão para prender o mastro na viga da cumeeira, estamos admitindo que ela seja de 14 cm, que é o comum. É claro que, se ela for menor, os dois furos deverão estar mais juntos. Todos os 3 furos deverão estar alinhados e ter diâmetro de, aproximadamente, 5 mm.

Em seguida, fixamos as castanhas aos mastros. Para a castanha mais próxima do mastro, utiliza-se um pedaço de fio de cerca de 70 cm, para que, no final, ela fique a cerca de 50 cm dele. Pode-se usar qualquer fio para esse fim, sendo comum o emprego da própria cordoalha. Se o aluno encontrar cordoalha de "nylon", dessas usadas em varal de roupa, poderá utilizá-la com vantagem, pois esse material é isolante. Agora, a uns 10 centímetros, prende-se a outra castanha. Na **figura 38**, mostramos a prática descrita.

Uma vez preparados, transportam-se os dois mastros para cima do telhado, no local onde serão fixados. Destelha-se a área de serviço e fixa-se, com dois pregos ou parafusos, o mastro à viga de cumeeira. Terminada a fixação dos dois mastros, amarra-se uma das extremidades da cordoalha de antena a uma das castanhas, e passa-se a extremidade livre na castanha do outro mastro. Agora, estica-se o fio até que fique bem horizontal, sem forçar os mastros. Em seguida, amarra-se a extremidade. À cordoalha esticada prendemos o fio de descida, de preferência em uma das extremidades ou no centro. Esse fio deve fazer bom contato permanente com a antena; portanto, se possível, deve-se soldá-lo. Caso não seja possível, devido à dificuldade em levar o soldador até o ponto de união, é aconselhável lixar a cordoalha, decapar cerca de 10 cm do fio de descida, e enrolá-lo firmemente na cordoalha. Em seguida, passa-se uma fita adesiva (de plástico) na emenda, para aumentar a resistência mecânica e dificultar a oxidação da emenda. Na **figura 39**, mostramos a antena montada.

A etapa final é refazer a área destelhada e vedar as possíveis infiltrações de água através dos mastros. Para isso, basta cimentar as telhas onde entram os mastros. Se o fio de descida for introduzido na residência através do telhado, será preciso chumbar o cachimbo na telha; se for introduzido pela parede, aí é que se deverá chumbá-lo. É aconselhável, também, obstruir as extremidades superiores dos mastros com um pouco de cimento, para evitar a penetração de água da chuva através deles.

Finalmente leva-se o fio de descida até o ponto de utilização, ou seja, até o receptor. Para a ligação do fio de antena ao receptor é aconselhável o emprego de uma chave-faca dupla, sendo que esta se presta para ligar, também, o terra ao receptor. A chave deve ser ligada de tal forma que, estando as facas voltadas para cima, a antena e terra externos são ligados ao receptor. Ao se mudarem as facas para a posição inferior, a antena ficará ligada somente ao terra. Esta posição, evidentemente deve ser utilizada quando o receptor esteja desligado, principalmente em ocasiões de tempestades, para evitar que descargas atmosféricas de maior intensidade danifiquem o circuito de entrada do receptor.

Com isto está instalada a antena. Devemos providenciar a instalação do terra.

## VI - Instalação do terra

No receptor, o sinal recolhido na antena deve fechar o circuito através da terra; por isso, para que a recepção se dê na condição de máxima eficiência, é necessário que, juntamente com uma boa antena, se providencie, também, uma boa ligação à terra.

A instalação de terra pode ser executada muito simplesmente ligando-se um condutor - que pode ser um pedaço de cordoalha de antena - em um cano de distribuição d'água, desde que a rede d'água seja de cano de ferro.

Em caso de não haver essa possibilidade, providencia-se um bom terra, fincando-se um pedaço de cano de ferro, de 3/4 ou 1", acerca de 1 a 1,5 m do solo.

A ligação do condutor de terra ao cano deve ser bastante boa; por esse motivo, é preciso que seja feita por soldadura. Para tanto, limpa-se bem a região do cano onde vai se ligar o fio, enrolam-se aí várias voltas da cordoalha, previamente limpa, e efetua-se a solda. Como se trata de soldadura em grande massa, ela só pode ser conseguida com ferro de soldar de grande potência (200 ou 300 W) ou, preferivelmente, com maçarico de funileiro.

Se a tomada de terra tiver sido feita no cano da rede d'água, será impossível soldá-la, mesmo com maçarico, pois a água absorve o calor. Neste caso, deve-se providenciar a limpeza do cano na região a ser ligada ao condutor de terra e aí prender uma braçadeira parafusada. Deve-se apertar ao máximo o parafuso da braçadeira, para que o contato seja perfeito. Na braçadeira, por um terminal adequado, ou mesmo por solda, liga-se o condutor de terra.

Na **figura 40**, ilustramos o assunto.

Note que este sistema de ligação também pode ser adotado para o cano enterrado no solo.

**Observação importante:**

Como afirmamos anteriormente, para máxima sensibilidade do receptor, a ele deve ser ligado o terra. Entretanto, no caso dos receptores antigos do tipo CA - CC (aparelhos que não possuem transformador para isolação da rede), não se pode ligar o terra diretamente ao chassi, porque isso pode provocar curto-circuito da rede. De fato, na maioria desses rádios, um dos fios da rede vai ligado diretamente ao chassi e, se coincidir que seja o fase, fechar-se-á o circuito através do chassi, havendo curto-circuito.

Figura 38 - Posicionamento das castanhas.

Figura 39 - Antena montada.

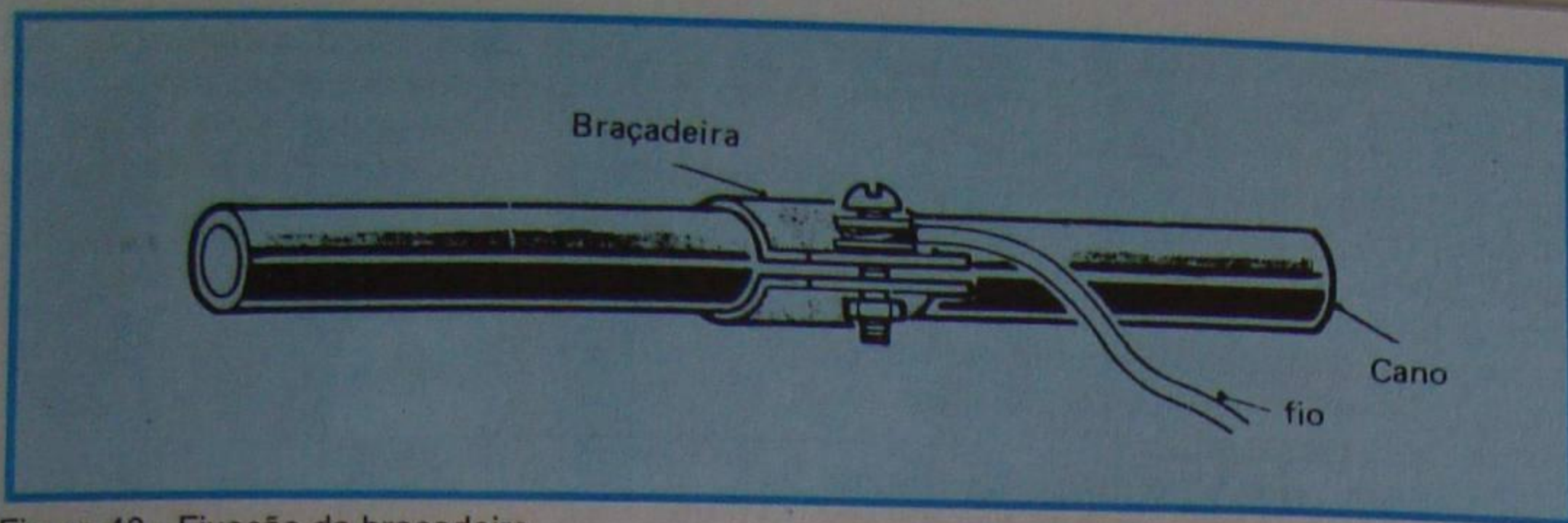



Figura 40 - Fixação da braçadeira.

Na **figura 41**, ilustramos a afirmativa.

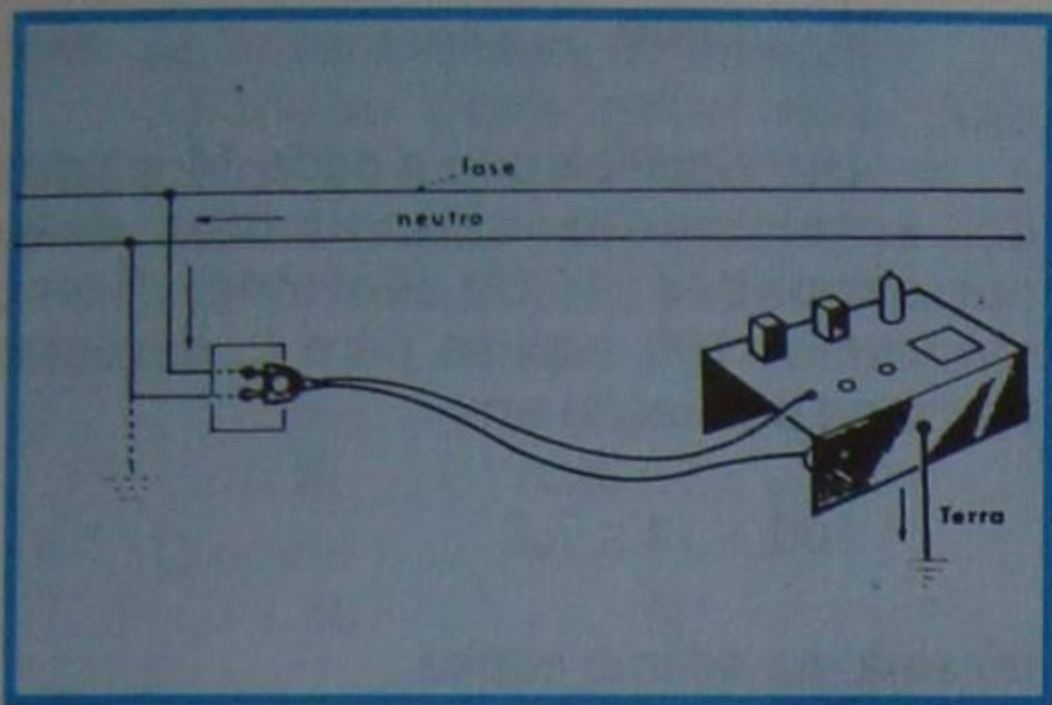



Figura 41 - Curto-circuito entre a fase e o terra.

Para ligar o terra ao receptor, devemos fazê-lo através de um capacitor de 0,02 a 0,05 μF x 600 V, como se mostra na **figura 42**. Esse capacitor tem baixa impedância para a corrente de RF e relativamente alta para a freqüência da rede de alimentação.

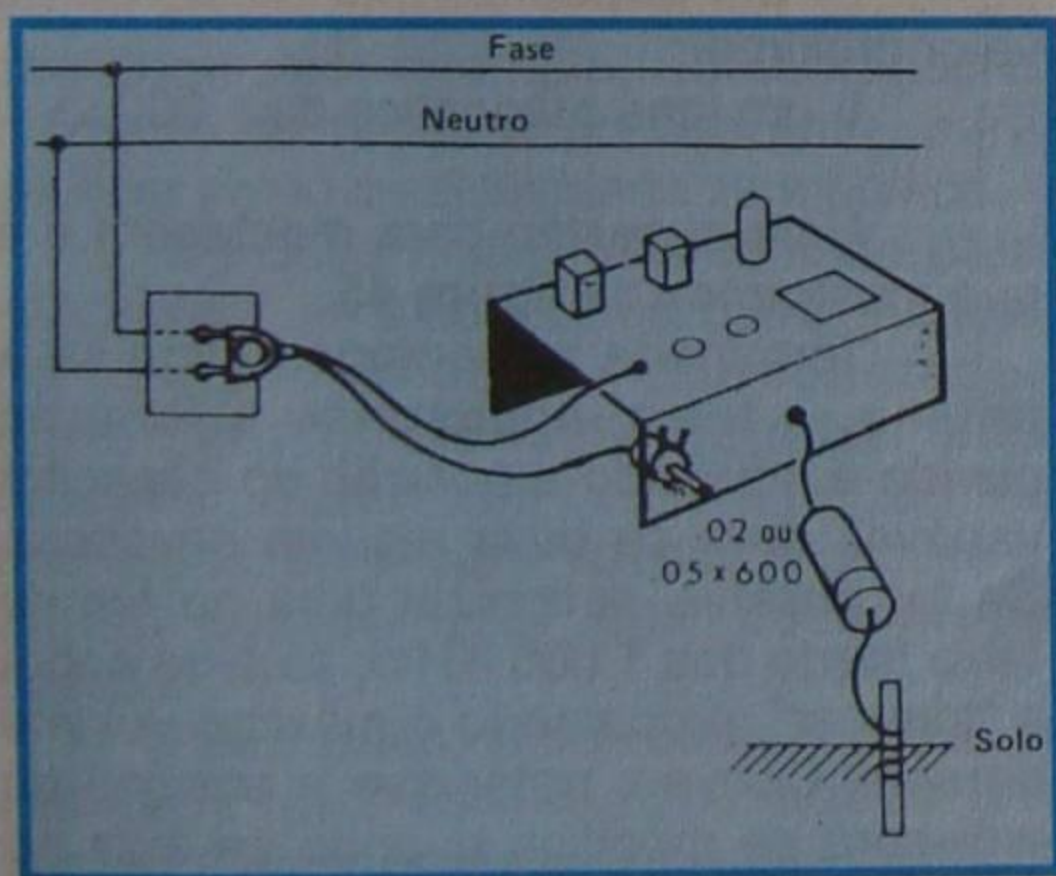



Figura 42 - Maneira correta de conexão do terra.

Antes de ligar o capacitor, é conveniente verificar se o receptor já não o possui.

## VII - Receptor elementar

Dispondo-se de uma boa antena e bom terra, podemos construir um **receptor elementar**, que é a primeira aplicação dos demoduladores que estudamos na lição teórica.

Qualquer receptor tem que executar, no mínimo, três funções:

1ª) Selecionar o sinal.

2ª) Detetar o sinal, ou seja, separar a informação de áudio da onda portadora de RF.

3ª) Transformar os impulsos elétricos de informação em ondas sonoras.

Na **figura 43**, mostramos o mais

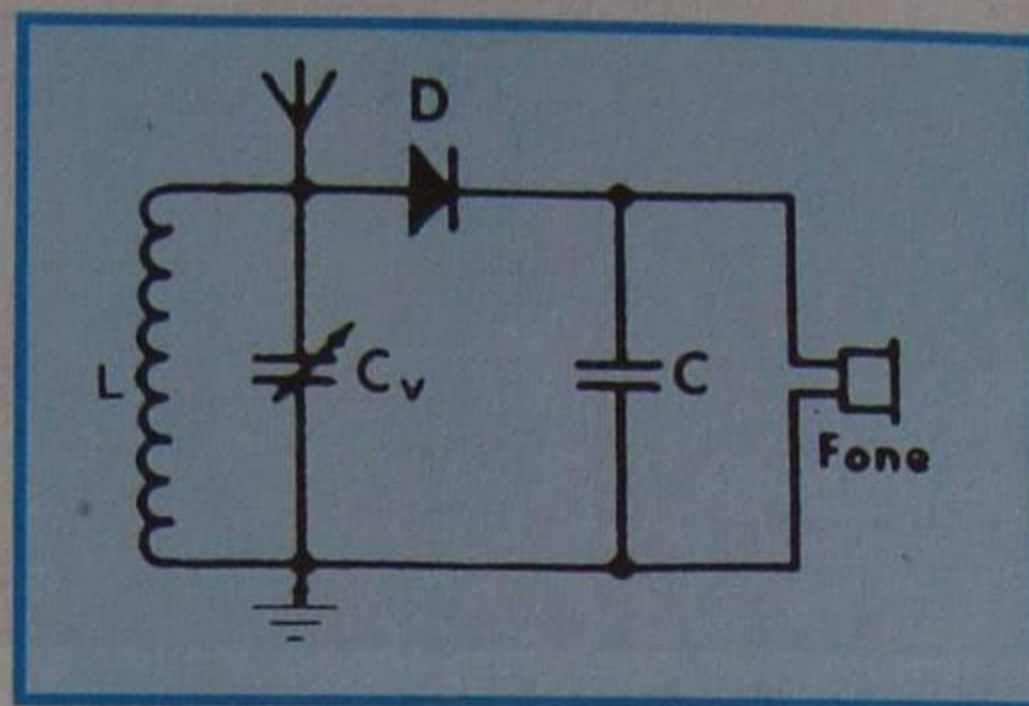



Figura 43 - Rádio de Galena.

simples dos receptores. Consta de um circuito sintonizado LC, onde é selecionada, através de $C_v$, a emissora que se quer ouvir; um diodo que retifica o sinal; o capacitor C, que filtra a RF; e o fone, que é a carga do diodo, ao mesmo tempo que transforma a onda de modulação em sonora.

## Cálculo do circuito

Mostremos como se dimensionam os componentes desse circuito para a recepção da faixa de ondas médias.

Inicialmente, escolhemos o capacitor variável. Fiquemos com um tipo preferencial de 410 pF de capacitância máxima e 20 pF de capacitância residual (mínima).

Estipulando a faixa a ser recebida como de 535 a 1 605 KHz, deveremos colocar um "trimmer" em paralelo com o variável, para que possamos cobri-la.

Esse "trimmer" calcula-se por:

$$C_T = \frac{C_{v\,máx.} - R_f^2 C_{v\,mín.}}{R^2 - 1}$$

onde $C_{v\,máx.}$ é a maior capacitância do variável, $C_{v\,mín.}$ é a residual e $R_f^2$ a relação entre a freqüência mais alta e a mais baixa a ser recebida. No caso:

$$C_{v\,máx.} = 410\ \text{pF}$$

$$C_{v\,mín.} = 20\ \text{pF}$$

$$R_f = \frac{1\,605}{535} = 3$$

Logo:

$$R_f^2 = 9$$

donde:

$$C_T = \frac{410 - 9 \times 20}{9 - 1} = \frac{230}{8} = 28{,}7\ \text{pF}$$

Considerando que desse valor devemos descontar as capacitâncias parasitas, utilizaremos um "trimmer" de 3 a 30 pF.

Agora, calculamos a indutância da bobina. Isto se faz pela expressão:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \times F^2_{mín.} \times C_{máx.}}$$

onde F é considerado em Hertz e C em Farads.

Para tomarmos os valores da freqüência diretamente em MHz e o da capacitância em pF, esta fórmula se simplifica para:

$$L = \frac{25\,330}{F^2 C}$$

onde L é dado em μH.

Como:

$$F = F_{mín.} = 535\ \text{KHz} = 0{,}535\ \text{MHz}$$

e: $C = C_{máx.} = C_{v\,máx.} + C_T = 410 + 28{,}7$

$C = 438{,}7\ \text{pF}$

substituindo esses valores e efetuando as contas, teremos:

$$L = \frac{25\,330}{(0{,}535)^2 \times 438{,}7} = \frac{25\,330}{125{,}566} \cong 202\ \mu\text{H}$$

De posse desse valor, e com o conhecimento que temos sobre bobinas, podemos calcular o número de espiras.

É claro que nos interessa o máximo de seletividade; conseqüentemente, devemos escolher uma bobina de Q elevado. Sabemos que para isso se deve utilizar fio grosso (pequena resistência) e fôrma de grande diâmetro. Para que a bobina não fique muito volumosa, vamos enrolá-la em fôrma de 2,5 cm (1"), de modo que o comprimento do enrolamento seja de 2,0 cm.

Utilizando a fórmula:

$$n = \frac{1}{D} \times \sqrt{L\,(45\,D + 100\,l)}$$

temos:

$$n = \frac{1}{2,5} \times \sqrt{202\,(45 \times 2,5 + 100 \times 2)}$$

$$n = 0,4 \sqrt{63\,125}$$

$$n = 0,4 \times 251,2 \cong 100 \text{ espiras.}$$

O condutor deverá ter diâmetro de:

$$d = \frac{l}{n} = \frac{2 \text{ cm}}{100} = 0,02 \text{ cm}$$

O condutor cujo diâmetro mais se aproxima desse é o nº 32AWG (d= 0,203 mm). Assim, construiremos nossa bobina com 100 espiras, de condutor de nº 32, em fôrma de 2,5 cm, enrolados sem espaçamento.

Como detetor, vamos escolher qualquer diodo de germânio ou silício especial para RF, tais como o 1N34, OA70, 1N4148, 1N60, etc.

O capacitor de demodulação (filtro de RF) C deverá ser escolhido em conjunto com a resistência de carga. Em nossa experiência, a carga é o próprio fone. Aqui há duas opções:

1ª) Escolhe-se o fone de cristal de alta impedância.

2ª) Escolhe-se o fone magnético de baixa impedância.

Para a primeira opção, uma vez que a resistência do fone de cristal é de cerca de 1 MΩ, o capacitor deve ser de 50 pF. De fato, como vimos em lição anterior, a constante de tempo RC deve ter, aproximadamente, 50 µseg; logo, substituindo R por 1 MΩ, resulta:

$$1\,000\,000 \times C = \frac{50}{1\,000\,000}$$

ou: $$C = \frac{50}{1\,000\,000 \times 1\,000\,000} \text{ F}$$

$$C = 50 \text{ pF}$$

Para a segunda opção, isto é, fone magnético, cuja impedância é de 1 000 Ω aproximadamente, podemos fazer novamente o cálculo, ou apenas observar que, se a resistência diminuir de 1 000 vezes, o capacitor deverá aumentar dessa quantidade; entretanto, é conveniente utilizar capacitor 10 vezes menor que o calculado. Portanto:

$$C = \frac{50 \times 1\,000}{10} = 5\,000 \text{ pF} = 0,005\ \mu\text{F}$$

Se o aluno escolher o fone magnético, uma vez que esse componente é mais barato e mais fácil de ser encontrado no comércio especializado não poderá montar o circuito exatamente como é mostrado na figura 43, porque ele não funcionará. Isto ocorre porque a carga do detetor (fone), sendo muito baixa, amortecerá o circuito ressonante a tal ponto que não haverá seletividade. É provável que se capte alguma emissora muito potente, situada a pouca distância do receptor, mas é só.

Para utilizar o fone de baixa impedância, devemos retirar o sinal de uma derivação da bobina, como mostramos na **figura 44**.

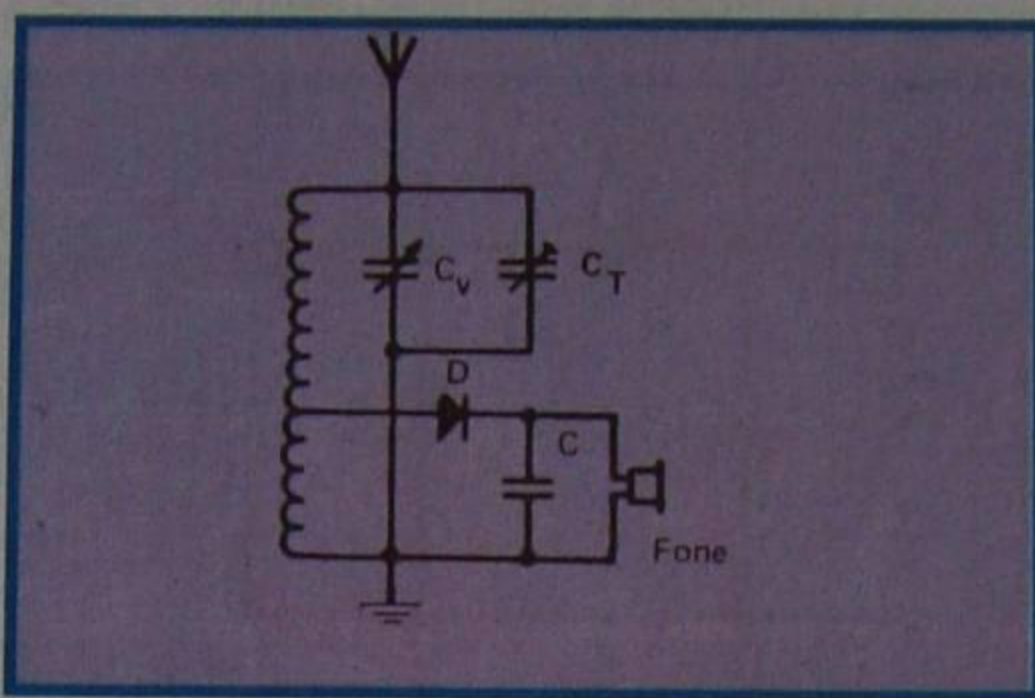



Figura 44 - Derivação para fase magnético.

Mostremos como se pode calcular a derivação:

Suponhamos que o Q da bobina construída seja de 150 em 1 MHz, o que é um valor bastante razoável.

A capacitância do variável, para sintonizar 1 MHz, é calculada pela expressão simplificada:

$$C = \frac{25\,330}{f^2 \times L}$$

onde f deve ser tomado em MHz e L em µH, para que C resulte em pF.

Substituindo f por 1 MHz e L por 202 µH (indutância da bobina de sintonia), virá:

$$C = \frac{25\,330}{1^2 \times 202} = 125 \text{ pF, aproximadamente}$$

A reatância na freqüência de ressonância, ou seja, a resistência dinâmica do circuito será:

$$R_d = \frac{1}{6,28 \times f \times C} \times Q$$

$$R_d = \frac{1}{6,28 \times 1\,000\,000 \times \frac{125}{1\,000\,000\,000\,000}} \times 150$$

$$R_d = \frac{1\,000\,000}{6,28 \times 125} \times 150$$

$$R_d = 191.000\ \Omega, \text{ aproximadamente}$$

Para casar essa resistência com os 1 000 Ω do detetor, a fim de que haja máxima transferência de energia, a relação de transformação é dada pela expressão:

$$n = \sqrt{\frac{R_d}{R_c}}$$

onde:

$$n = \sqrt{\frac{191\,000}{1\,000}} = \sqrt{191} \cong 14$$

Isto significa que a cada 14 espiras do enrolamento sintonizado, deve corresponder 1 do detetor. Como calculamos 100 espiras para L, devemos tirar uma derivação em:

$$100 \div 14 \cong 7,2$$

ou seja, na sétima espira.

Em resumo, o material necessário à experiência é:

a) uma bobina de 202 µH, construída enrolando-se 100 espiras de fio de cobre esmaltado nº 32 sobre fôrma de 2,5 cm;

b) um capacitor variável com variação de 20 a 410 pF;

c) um "trimmer" de 3 a 30 pF;

d) um diodo 1N60 ou equivalente;

e) um capacitor fixo de 5 nF (ou valor próximo);

f) um fone magnético de 1 000 Ω.

Uma sugestão para montagem é a que mostramos na **figura 45**.

Terminada a montagem, liga-se a antena, o terra, encosta-se o fone no ouvido e, variando a posição do capacitor variável, deve-se ouvir alguma emissora. Se for possível sintonizar uma no fim da faixa (perto dos 1 600 KHz), atua-se sobre o "trimmer", procurando o máximo volume de som. Convém notar que a posição da emissora se modifica quando se atua no "trimmer"; por isso, é preciso ajustar simultaneamente o variável.

**Observações:**

1ª) Quando se adaptou a impedância do fone para a maior transferência de energia, o que se fez foi refletir na bobina uma resistência igual à sua resistência dinâmica, o que significa que o Q abaixou para a metade. Como admitimos um Q descarregado de 150, o carregado será de 75. Com este valor, a banda passante será de:

$$B = \frac{1\,000\,000}{75} \cong 13\,400 \text{ Hz}$$

em 1 MHz e, havendo duas emissoras de freqüências adjacentes, de mesma

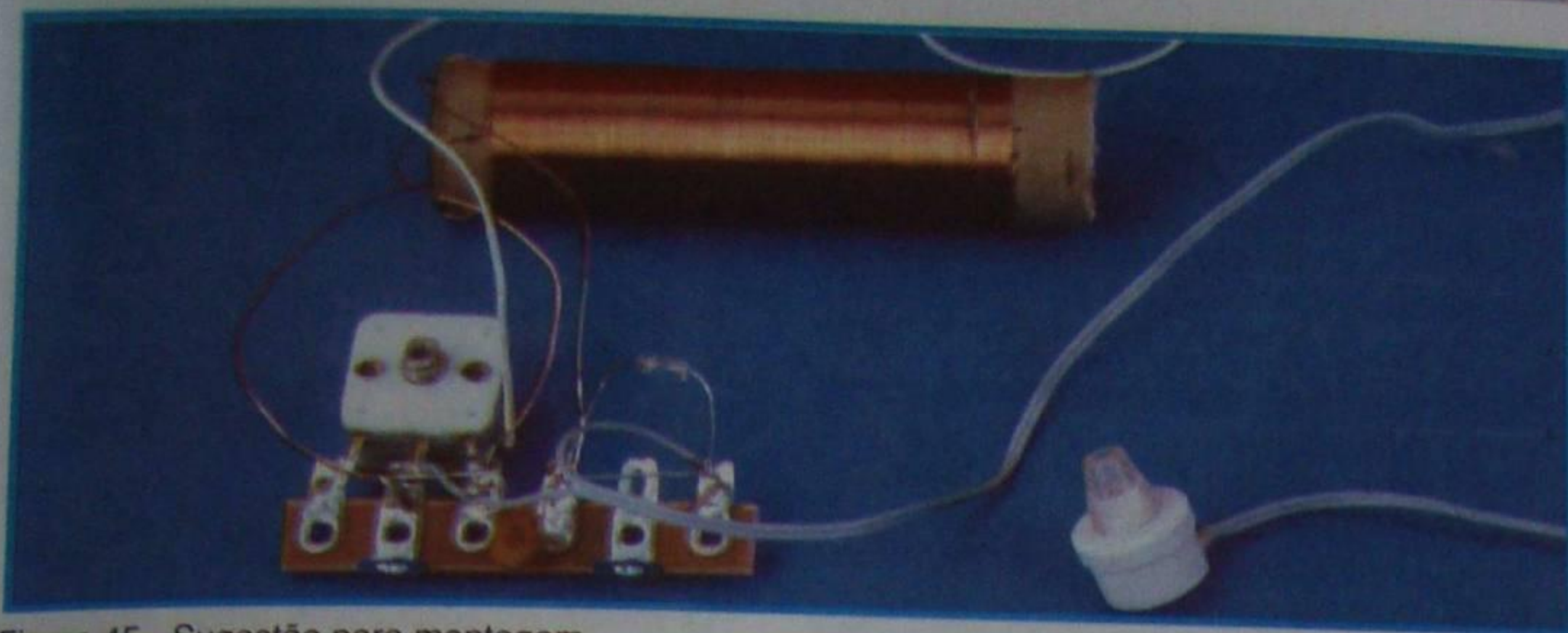



Figura 45 - Sugestão para montagem.

potência, haverá mistura de estação.

O aluno deve notar que, nas freqüências baixas (início da faixa), a seletividade é maior. Isto se deve ao fato de o Q variar com a freqüência, pois, por definição:

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{6{,}28 \times f \times L}{R}$$

Parece contraditório afirmarmos que o Q é maior no início da faixa, porque, pela expressão acima, se aumentarmos f para uma mesma bobina, o Q deverá aumentar. Entretanto, a resistência R também varia com a freqüência, e a velocidade de variação é maior do que a da freqüência; conseqüentemente, o Q aumenta, como afirmamos.

2ª) Julgamos interessante que o aluno experimente construir bobinas diferentes, por exemplo, aumentando o diâmetro da fôrma e do condutor, para verificar como a seletividade se modifica.

3ª) Seria muito mais cômodo para nós indicar os valores dos componentes do circuito receptor apresentado; entretanto, preferimos detalhar seu cálculo, para que o aluno tenha orientação, se desejar adaptar o circuito a algum componente que porventura possua.

Além disso, procuramos mostrar a utilidade das fórmulas e conceitos apresentados durante o curso, visando enfatizar a necessidade de uma formação técnica consciente, pois nosso objetivo é formar técnico de rádio, e não simplesmente montador de rádio, já que para esta última profissão não é necessário nenhum conhecimento técnico, bastando saber soldar.

# RECEPTORES

Dos diversos sistemas de recepção que apresentamos na lição teórica, o mais importante é o de conversão de freqüências, e principalmente o super-heteródino, que merecerá estudo especial na próxima lição.

Nesta lição, vamos descrever a montagem de um aparelho do sistema regenerativo, próprio para receber as emissoras de ondas médias. Sendo de fácil execução, constitui-se em excelente oportunidade para o aluno inteirar-se da parte efetivamente prática do curso.

## I - Receptor regenerativo

O receptor que descreveremos em seguida, como se pode facilmente verificar, é do sistema regenerativo. Sua sensibilidade é muito boa e permitirá captar emissoras dentro de um raio de quase 100 quilômetros, desde que seja utilizada uma antena adequada.

O circuito esquemático do receptor está mostrado na **figura 46**.

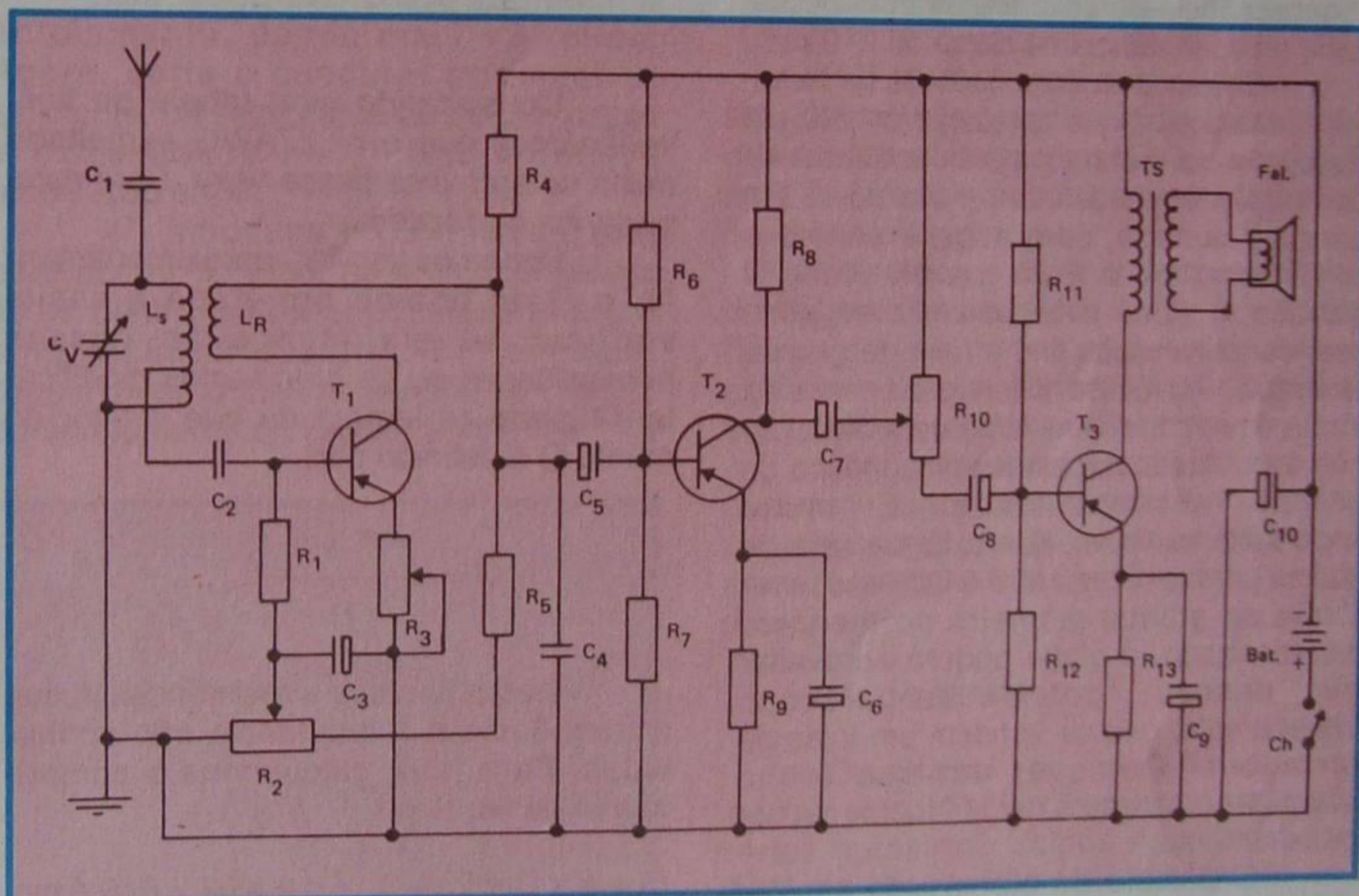



Figura 46 - Esquema do receptor regenerativo.

### a) Descrição do funcionamento

A energia de radiofreqüência captada pela antena é aplicada à bobina de sintonia $L_s$, através do capacitor $C_1$. Essa bobina é sintonizada pelo capacitor variável $C_v$ e a emissora recebida é aplicada à base de $T_1$, através do capacitor de acoplamento $C_2$. A derivação no enrolamento de $L_s$ é simplesmente para o casamento da impedância.

O sinal amplificado pelo transistor $T_1$ é também detetado e recolhido no coletor através de enrolamento $L_R$. Mas, no enrolamento $L_R$ existe também a radiofreqüência residual, da mesma freqüência que o sinal sintonizado, obviamente. Esta RF reaciona com a de entrada e produz a oscilação que aumenta a sensibilidade e a seletividade. O enrolamento $L_R$ é, portanto, o de **reação** ou **regeneração**.

O controle da regeneração é conseguido através do potenciômetro $R_2$ que faz variar a polarização de base do transistor de entrada. Quando o ajuste de $R_2$ não é suficiente para controlar a regeneração, deve-se atuar no resistor de emissor, que é o potenciômetro $R_3$.

O transistor $T_2$ é o pré-amplificador de áudio, tendo $R_6$, $R_7$ e $R_9$ como resistores de polarização, e $R_8$ como resistor de carga. O potenciômetro $R_{10}$ é o controle de volume.

O transistor $T_3$ é o amplificador de potência. $R_{11}$, $R_{12}$ e $R_{13}$ são resistores de polarização e a carga é o alto-falante acoplado ao transistor através do transformador de saída $T_S$.

As funções dos capacitores são evidentes. Assim, $C_1$ dá passagem aos sinais da antena para a bobina de sintonia; $C_V$ é o capacitor variável de sintonia; $C_2$ acopla o sinal sintonizado à entrada (base) do transistor $T_1$; $C_3$ é o capacitor de filtro de áudio; $C_4$ é filtro de RF; $C_5$ é o capacitor de acoplamento do sinal de áudio à entrada do transistor amplificador de tensão; $C_6$ é o capacitor de contorno de áudio; $C_7$ é de acoplamento; $C_8$ também é de acoplamento; $C_9$ é capacitor de contorno; e $C_{10}$ é capacitor de filtro de +B.

## b) Detalhes construtivos

### 1 - da bobina

Nos receptores de amplificação direta (RFS) e regenerativos, é importante que a bobina de sintonia seja construída com bastante cuidado, uma vez que a seletividade depende bastante desse componente. Por esse motivo, é necessário construí-la com o Q bastante elevado o que impõe que o material utilizado seja de muito boa qualidade, principalmente a fôrma e a isolação do condutor, as quais devem ser de baixa perda.

Para o receptor regenerativo que estamos apresentando é razoável um fator de mérito (Q) em vazio da ordem de 200, o qual se reduzirá aproximadamente à metade, quando carregado, isto é, quando o circuito ressonante for amortecido pela resistência de entrada do transistor $T_1$.

O valor da indutância do enrolamento $L_S$ depende, é claro, do capacitor variável, da capacitância parasita, devido à fiação, e da faixa de onda que se pretende receber. Para a faixa de ondas médias, utilizando-se um capacitor variável comum de 410 pF de capacitância máxima e 10 de mínima, e admitindo-se 20 pF para a capacitância parasita, resulta ser necessária uma indutância de cerca de 210 μH.

Existem inúmeras maneiras de se enrolar uma bobina que apresente os 210 μH desejados; entretanto, para facilidade na confecção caseira, vamos enrolá-la em uma só camada, sem espaçamentos e com núcleo de ar. Para que ela tenha Q elevado, o aluno sabe que não se pode usar condutor muito fino e nem de grande extensão. Por causa disso, o diâmetro da fôrma deverá ser relativamente grande, se não for utilizado núcleo ferromagnético de grande permeabilidade. É muito importante, também, que a fôrma seja de baixas perdas. Como não é fácil encontrar fôrma de grande diâmetro no mercado especializado, o aluno poderá aproveitar um desses "potes" de plástico transparente, que se vendem em lojas de ferragens. Qualquer um que tenha diâmetro entre 5 e 10 cm serve perfeitamente.

O cálculo do número de espiras necessário para proporcionar a indutância desejada pode ser feito como ensinamos na lição sobre bobinas. Em nosso protótipo, usamos um tubo de 5 cm de diâmetro. Vamos reproduzir os cálculos para que o aluno tenha uma orientação, caso venha construir a bobina em fôrma de diâmetro diferente.

Como a fôrma é relativamente grande, vamos aplicar a fórmula:

$$N^2 = \frac{100\,L\,.\,l}{D^2\,.\,K} \quad \text{ou} \quad N = \frac{10}{D}\sqrt{\frac{L\,.\,l}{K}}$$

Escolhamos $l$ = 2,0 cm, ou seja, o comprimento do enrolamento (não confundir com o comprimento do fio) é igual a dois centímetros.

A relação entre D e $l$ será, portanto:

$$\frac{D}{l} = \frac{5}{2,0} = 2,5$$

Para esse valor encontramos K = 0,47 (veja a lição sobre bobinas).

Como L = 210 μH, substituímos todos os valores na fórmula:

$$N = \frac{10}{5}\sqrt{\frac{210 \times 1,5}{0,47}}$$

$$N = 2\sqrt{\frac{315}{0,47}} = 2\sqrt{670,212}$$

$$N \cong 2 \times 25,888 \cong 52 \text{ espiras}$$

O diâmetro do condutor a ser empregado será de:

$$d = \frac{l}{n} = \frac{2,0\text{ cm}}{52} = \frac{20\text{ mm}}{52} = 0,384\text{ mm}$$

Consultando uma tabela de fios, verificamos que o nº 27AWG esmaltado muito se aproxima desse valor. Será este, portanto, o utilizado.

Podemos avaliar, aproximadamente, o Q da bobina projetada e assim verificar se ela atende às nossas necessidades ou se precisamos modificá-la. O aluno se lembra de que o fator de mérito Q é definido por:

$$Q = \frac{2\,\pi\,f\,L}{R}$$

Determinemos a resistência, já que a freqüência e a indutância são conhecidas. Para isso, calculamos o comprimento do fio. Será:

$$l_C = \pi \times D \times 52 = 3,14 \times 5 \times 52 = 816,4\text{ cm}$$

ou:

$$l_C = 816,4 \div 100 = 8,164\text{ metros}$$

Consultando a tabela de fios, encontramos que o fio 27AWG tem resistência média de 0,169 Ω/m, aproximadamente. Como nossa bobina tem 8,164 m, resulta que a resistência será:

$$R = 0,169 \times 8,164 = 1,379716$$

ou 1,38 Ω, aproximadamente.

Este é o valor da resistência do condutor para corrente contínua. Para a CA de alta freqüência, ou, mais precisamente, nas freqüências de ondas médias, podemos admitir que a resistência quintuplique; logo.

$$R_{AF} = 5 \times 1,38 = 6,9\Omega$$

O Q aproximado, em vazio, na freqüência de 1 MHz da bobina proposta, será, portanto, de:

$$Q = \frac{6,28 \times 1\,000\,000 \times 0,000210}{6,9} = \frac{1\,318,80}{6,9}$$

$$Q = 191,130$$

Esse valor está próximo daquele que admitimos (cerca de 200); portanto, pode-se construir a bobina e experimentá-la. Se o resultado não for o desejado no que tange à seletividade, ensaia-se outra bobina de Q mais elevado.

Admitindo que a bobina satisfez, devemos retirar uma derivação para o acoplamento do sinal à base do transistor $T_1$ de modo que exista o casamento entre o circuito sintonizado e a impedância de entrada do transistor. A resistência de entrada de $T_1$ depende do resistor $R_3$ e do ganho do transistor, uma vez que o emissor não está desacoplado. Escolhendo para $R_3$ um valor de cerca de 500Ω, aproximadamente, e desde que os transistores de RF tenham ganho de cerca de 100, resulta que a resistência de entrada de $T_1$ é relativamente alta (cerca de 50 KΩ). Fazendo $R_1$ bem mais baixo que essa resistência, podemos considerá-la como a resistência de entrada do transistor e determinar o acoplamento exclusivamente em função dela. Em nosso caso, considerando 10 KΩ para $R_1$ e $R_2$, na condição de meio curso, de cerca de 6 KΩ, resulta que a relação entre o número de espiras do circuito sintonizado e aquele da derivação é de:

$$\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{X_L\,Q}{R_1 + R_2}} \cong \sqrt{\frac{252\,000}{16\,000}} \cong 4$$

Portanto, o número de espiras entre o terminal "frio" (aquele ligado ao chassi) e a derivação será de:

$$n_2 = \frac{52}{4} = 13\text{ espiras}$$

Todas as espiras serão enroladas juntas, isto é, sem espaçamento.

O enrolamento de reação, $L_R$, será constituído de 15 espiras, enroladas na mesma fôrma, com o mesmo fio, sem espaçamento e distanciado do enrolamento de sintonia, em cerca de meio centímetro. É conveniente que esse enrolamento seja feito sobre uma camada de papel-manteiga e com as espiras

não muito apertadas, para que ele possa deslizar sobre a fôrma e, assim, permitir o correto ajuste do acoplamento, pois ele dependerá das características, do transistor utilizado.

Para a construção da bobina, o aluno deve fazer o seguinte:

1º) Adquira o recipiente plástico, como citamos no início deste item, de modo que ele tenha o diâmetro de 5 cm e altura de 8 a 10 cm. Caso o diâmetro seja maior, recalcule a bobina.

2º) Faça, com uma broca de 1,16", 5 furos horizontais na borda aberta do recipiente, como mostramos na **figura 47**. Caso o aluno não possua furadeira, poderá fazer os furos aquecendo um prego fino e introduzindo-o no plástico. Para tanto, segure o prego com o alicate de ponta.

Aproveite e faça mais 5 furos no sentido vertical, sendo o primeiro a cerca

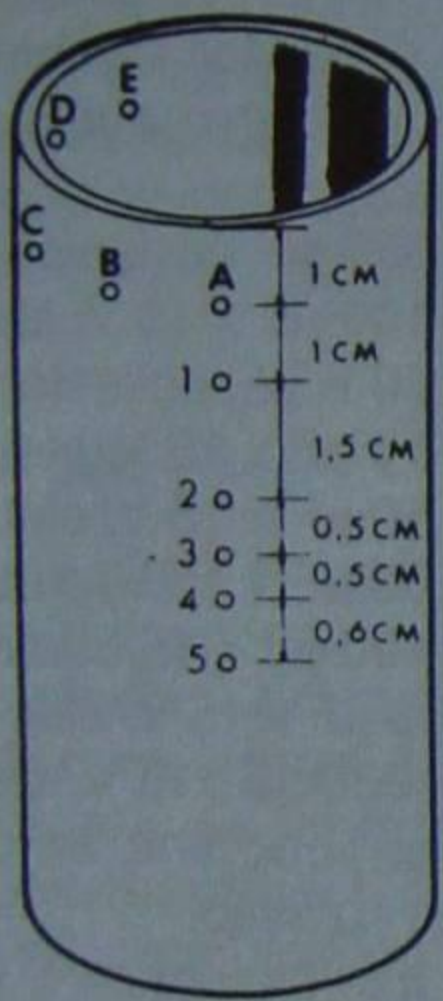



Figura 47 - Furação do tubo.

de 2 cm da extremidade aberta, o 2º a 1,5 cm do anterior, o 3º a 0,5 cm deste último, o 4º a 0,5 cm do 3º e, finalmente o último a 0,6 cm do 4º. Na figura 47, mostramos as posições.

3º) Introduza a ponta do condutor 27AWG no furo 1, de fora para dentro, e passe-o pelo furo **A**, de dentro para fora. Dê algumas voltas entre o furo **A** e a borda do tubo, para que o fio fique firme. Na **figura 48**, detalhamos o exposto.

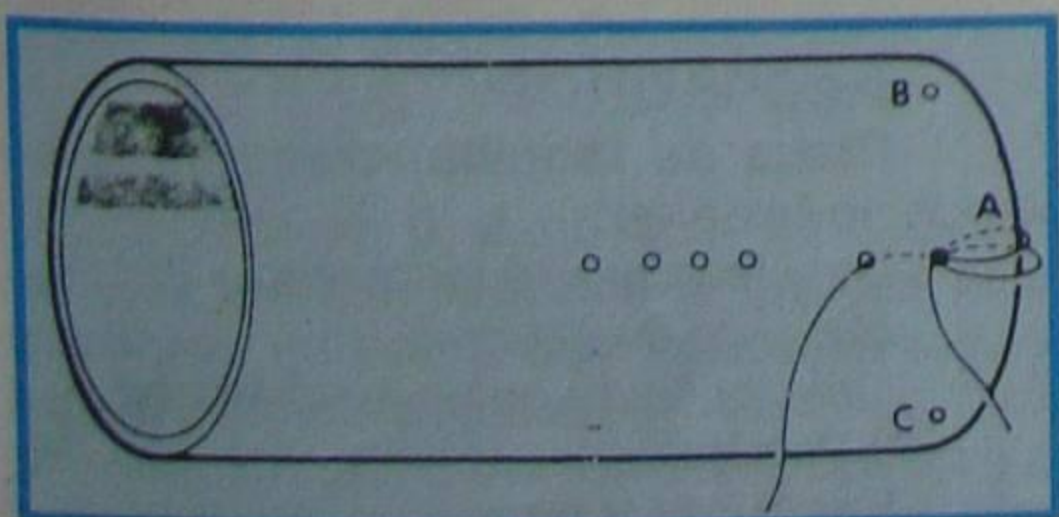



Figura 48 - Detalhe de fixação do fio.

Agora, enrole 39 espiras juntas, bem apertadas, faça uma dobra de uns 20 cm no fio e passe o fio dobrado pelo 2º furo. Introduza o fio no furo **B** e dê algumas voltas entre esse furo e a borda do tubo, como indicamos para o início do enrolamento. Na **figura 49**, mostramos como ficará essa amarração.

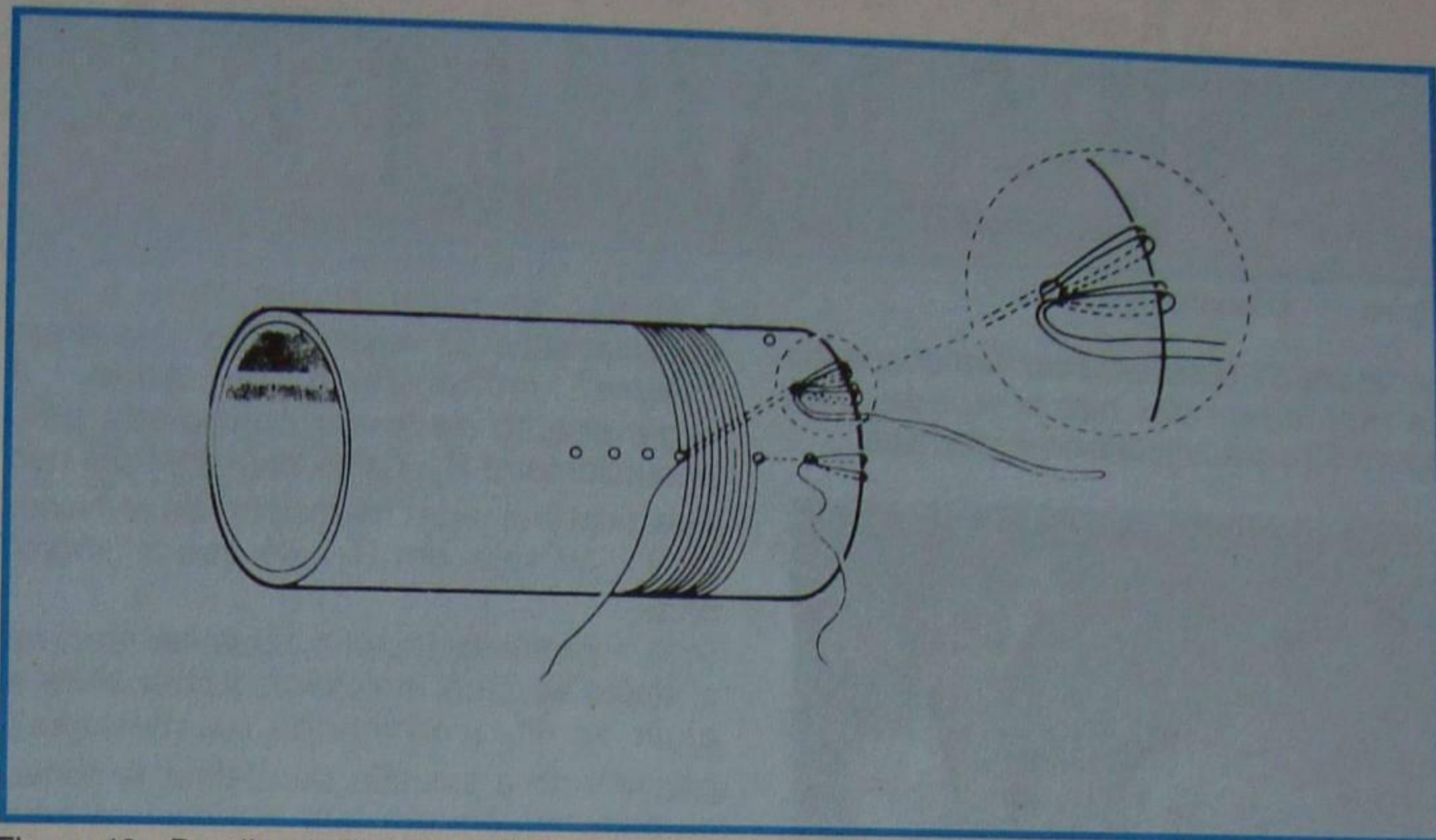



Figura 49 - Detalhe de fixação do fio no furo B.

Em seguida, prossiga com o enrolamento, dando mais 13 voltas. Agora, corte o condutor no tamanho suficiente, ou seja, cerca de 30 cm; passe a extremidade no 3º furo e faça a amarração em **C**.

4º) Introduza o condutor de fora para dentro do tubo, no 4º furo. Passe o fio de dentro para fora no furo **D** e faça a amarração já descrita. Em seguida, conservando o mesmo sentido de rotação do enrolamento concluído, enrole mais 15

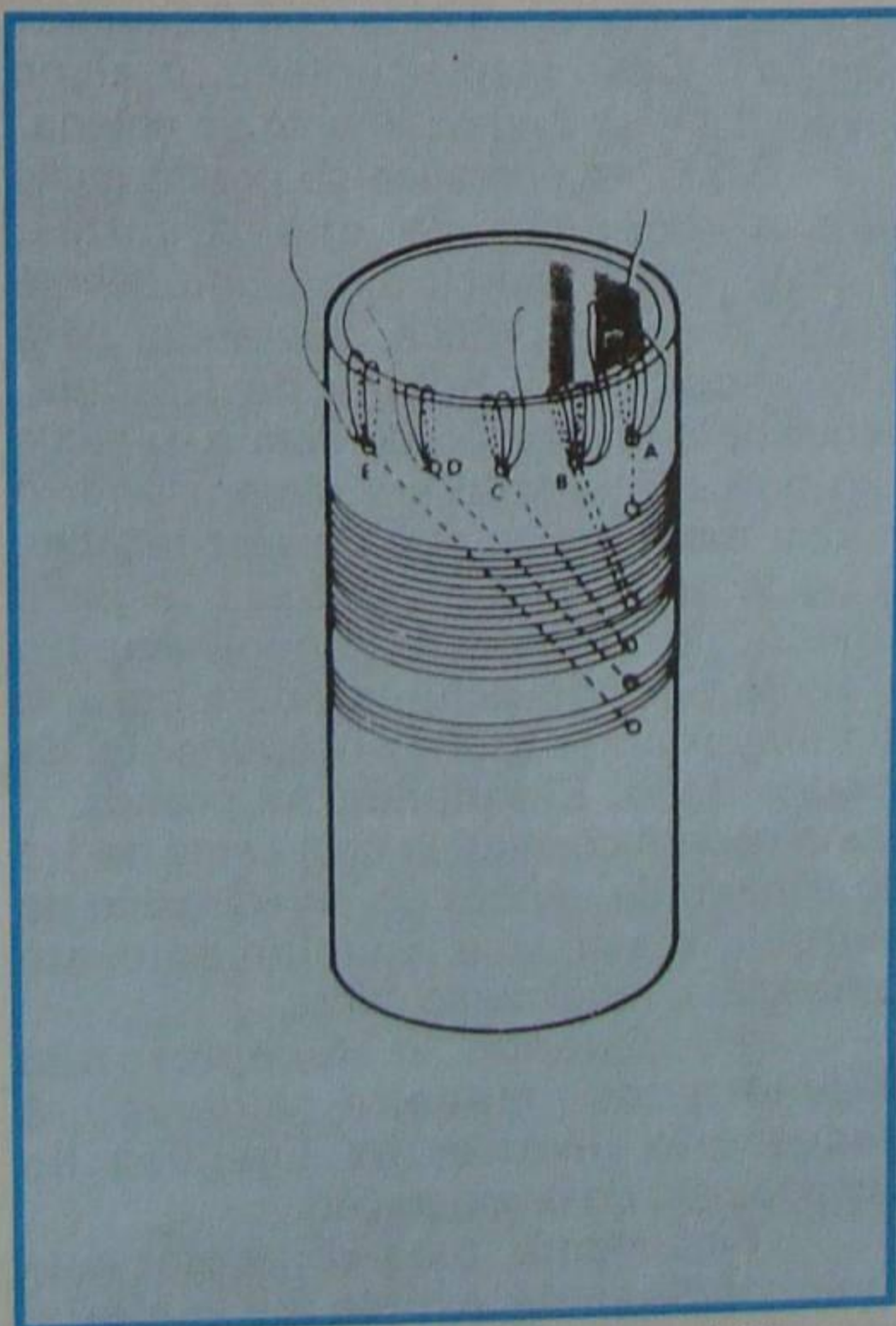



Figura 50 - Aparência de bobina concluída.

espiras. Corte o fio, deixando cerca de 30 cm de ponta; introduza-o no 5º furo, passando-o no furo **E** da borda do tubo, e faça a amarração final.

Fica assim concluída a bobina, a qual passa a ter a aparência mostrada na **figura 50.**

**Observações:**

1ª) O excesso de condutor, ou seja, as pontas que foram deixadas não devem ser cortadas, pois elas servirão para as ligações da bobina com o restante do circuito.

2ª) Não se deve colocar terminais de bobinas nos furos **A, B, C, D** e **E** da fôrma, porque, sendo o material termoplástico, ele se derreteria quando da soldagem do condutor no terminal.

3ª) É conveniente fazer um furo no centro do fundo fechado da fôrma, com um prego aquecido ou broca de 1/8", que servirá para a fixação da bobina no chassi.

## 2 - **do chassi**

O chassi ou suporte desta montagem pode ser confeccionado de várias maneiras. Vamos escolher uma placa de circuito impresso de fenolite ou fibra de vidro, por ser este material facilmente trabalhável. Em caso de dificuldade em adquirir esse material, a montagem pode ser feita em ponte de terminais.

A furação da placa deve ser efetuada de acordo com as dimensões dos componentes utilizados na montagem.

## 3 - **da fiação**

A montagem do receptor não é crítica porém, devem ser observadas as regras da boa disposição dos componentes e da soldagem correta que indicamos nas lições de prática de montagem. Para que o aluno tenha uma melhor orientação,

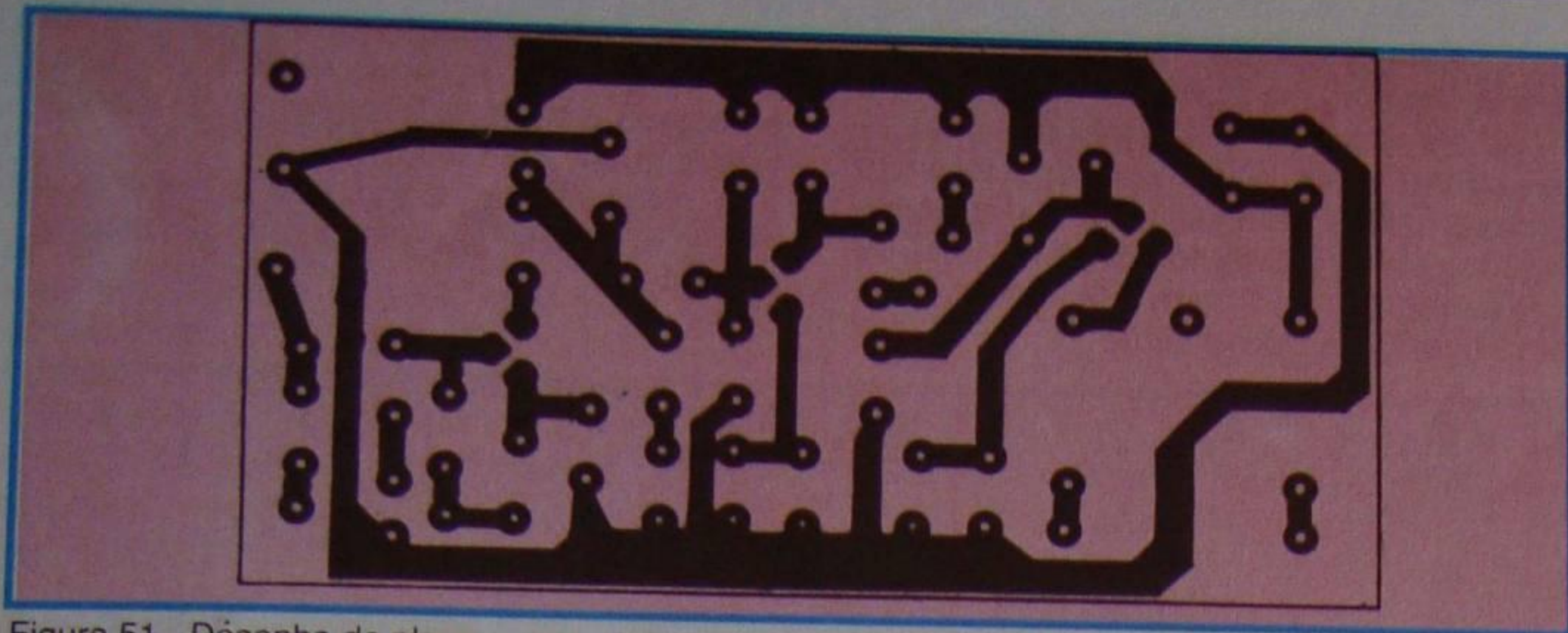



Figura 51 - Desenho de placa.

na **figura 51** apresentamos um chapeado da montagem por nós efetuada e na **figura 52** a placa totalmente montada.

Figura 52 - Aparência da montagem.

Convém relembrar que o desenho chapeado só tem significado quando os componentes são mecanicamente semelhantes, em dimensões e formas, aos utilizados. Caso contrário, servirá apenas como uma primeira orientação. Acreditamos que, no caso específico deste receptor, o aluno não terá dificuldade em alterar o chapeado, caso os componentes adquiridos sejam de dimensões diferentes.

### 4 - do ajuste

Uma vez terminada a montagem do receptor, o aluno deve fazer a verificação final, conferindo as ligações com o desenho esquemático e observando se não existe algum curto-circuito, principalmente nas ligações dos transistores, que possa danificar o componente. Certificando-se de que tudo está em ordem ligue a bateria com as polaridades certas, caso contrário os transistores se queimarão, como já é do conhecimento do aluno.

Estando tudo normal, ao ligar o receptor o aluno deverá ouvir o ruído característico da regeneração, que é um "sopro" muito forte ou apito. A regeneração deve ser controlada pelo potenciômetro $R_2$. Caso esse controle não seja possível, atue no resistor de emissor de $T_1$, ou seja, em $R_3$, até que o "sopro" finde.

Isto feito, atue no capacitor variável e sintonize uma emissora. Agora volte a atuar em $R_2$ (controle de regeneração), procurando a posição de melhor sintonia, ou seja, aquela em que a emissora seja captada com maior fidelidade.

A sintonia dos regenerativos é simples, porém exige alguma prática, coisa que o aluno adquirirá em pouco tempo.

**Observações:**

1ª) A sensibilidade do aparelho depende grandemente da antena empregada; por isso, o aluno deve utilizar, preferivelmente, aquela que descrevemos na primeira parte desta lição prática.

2ª) Um dos inconvenientes do regenerativo é sua excessiva irradiação, ou seja, ele age como transmissor e perturba o funcionamento dos receptores vizinhos. Caso isso aconteça, o aluno deverá diminuir o comprimento da antena.

3ª) O regenerativo se presta muito bem à recepção de ondas curtas; portanto, como exercício, o aluno deverá ensaiá-lo nessa prática, bastando, para isso, modificar a bobina de sintonia. Seguindo a orientação do item **a**, o aluno não terá dificuldade em dimensionar o indutor para a faixa que desejar receber. O único ponto que pode deixar alguma dúvida, já que não desenvolvemos o assunto por não achá-lo oportuno, é o dimensionamento do enrolamento de regeneração. Entretanto, na prática, o aluno poderá construí-lo com cerca de 1/3 do número de espiras do enrolamento de sintonia e variar o acoplamento até conseguir o rendimento ótimo.

4ª) Quando o receptor não regenera de maneira alguma, é necessário inverter as ligações do enrolamento de regeneração.

Finalmente, para completar esta lição, indicamos a lista de material utilizado na montagem. Caso o aluno não consiga encontrar os componentes numerados, principalmente os transistores, poderá usar outros equivalentes. O estágio de áudio também pode ser modificado à vontade, caso o aluno deseje maior ou menor potência.

## Lista de Materiais

$R_1$ = 10 KΩ 1/8 W
$R_2$ = 20 KΩ, potenciômetro sem chave
$R_3$ = trimpot, ou potenciômetro de 500 Ω
$R_4$ = 4K7, 1/8 W
$R_5$ = 100 K, 1/8 W
$R_6$ = 47 K, 1/8 W
$R_7$ = 15 K, 1/8 W
$R_8$ = 4K7, 1/8 W
$R_9$ = 1K2, 1/8 W
$R_{10}$ = 10K Ω, potenciômetro com chave
$R_{11}$ = 10K Ω, 1/8 W
$R_{12}$ = 2K2, 1/8 W
$R_{13}$ = 100 Ω, 1/2 W
$C_1$ = 100 pF, cerâmico
$C_V$ = capacitor variável de 410 pF. Em caso de utilizar o duplo, use apenas uma secção.
$C_2$ = 680 pF, cerâmico
$C_3$ = 100 μF x 15 V, eletrolítico
$C_4$ = 10 K pF, poliéster
$C_5$ = 10 μF x 15 V, eletrolítico
$C_6$ = 50 μF x 15 V, eletrolítico
$C_7$ = 50 μF x 15 V, eletrolítico
$C_8$ = 100 μF x 15 V, eletrolítico
$C_9$ 100 μF x 15 V, eletrolítico
$C_{10}$ = 200 μF x15 V, eletrolítico
$L_S$, $L_R$ = bobina enrolada, como descrevemos na lição.
AF = alto-falante de 5 W, 8 Ω
TS = transformador de saída simples para o transistor utilizado.

Caso não seja possível encontrar a saída simples, use o "push-pull", ligando apenas a metade do enrolamento primário.

$T_1$ = transistor OC44, AF115, 2SA234 ou equivalente
$T_2$ = transistor OC71, 2SB75 ou equivalente
$T_3$ = transistor OC74, 2SB156 ou equivalente
Bat = bateria de 9 V ou 6 pilhas ligadas em série

**Obs.:** Caso os transistores empregados sejam do tipo NPN, inverter as polaridades da bateria e os capacitores eletrolíticos.

## Acessórios

Placa de fenolite, como descrevemos no texto ou:
Uma tira com 18 terminais.
Um eixo de sintonia.
Uma polia de qualquer diâmetro.
3 "knobs".
Parafusos e porcas.
Solda.

# CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO - TV

# 15ª LIÇÃO ESPECIAL

## CIRCUITOS RESSONANTES (2ª PARTE)

### Circuito RLC paralelo

Nesta lição especial completaremos o assunto iniciado na anterior, apresentando as principais propriedades do circuito RLC paralelo, também de aplicação corrente em radiotécnica.

### I - Impedância

Todas as definições apresentadas anteriormente, para o circuito RLC série, valem para o paralelo, e como elas têm sido intencional e sistematicamente repetidas durante todo o curso, admitiremos que o aluno não tenha mais dúvidas sobre o assunto.

Em sendo assim, determinemos a impedância do circuito RLC paralelo nos seguintes casos:

#### 1 - Circuito RL

Aqui o resistor **R** está ligado em paralelo com um indutor **L**, que admitiremos sem resistência. O circuito é aquele que mostramos na **figura 16.** Como é natural, a corrente da fonte se bifurca, passando $i_R$ pelo resistor e $i_L$ pelo indutor. A corrente total será, evidentemente, a soma destas correntes parciais.

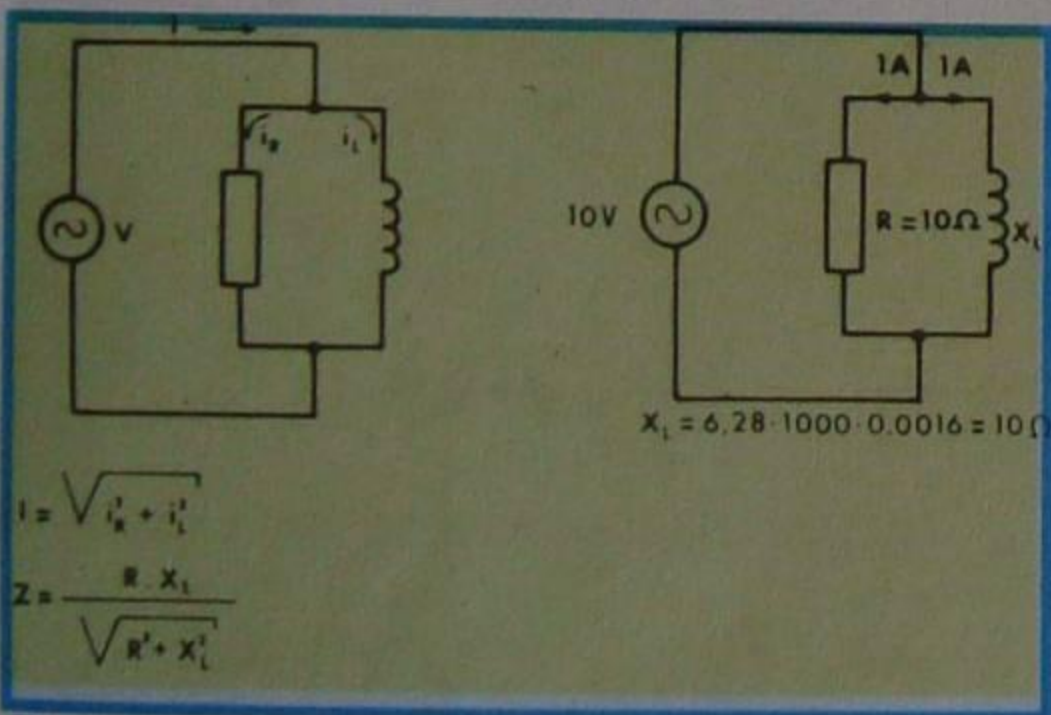



Figura 16 - Circuito RL.

Entretanto, como corrente e tensão **não estão em fase**, não podemos somá-las aritmeticamente, e sim os seus quadrados (vetorialmente). Logo, teremos:

$$I^2 = i_L^2 + i_R^2 \quad \text{ou} \quad I = \sqrt{i_R^2 + i_L^2}$$

Observe o aluno que, no circuito-série, **a tensão aplicada é igual à raiz quadrada da soma dos quadrados das tensões em cada componente**. No circuito paralelo, **a corrente é igual à raiz quadrada da soma dos quadrados das correntes em cada ramo do circuito.**

Como a corrente no resistor é V ÷ R e, no indutor, é V ÷ $X_L$, sendo V a tensão da fonte alternada, R a resistência do resistor e $X_L$ a reatância indutiva da bobina, resulta:

$$I^2 = \left(\frac{V}{R}\right)^2 + \left(\frac{V}{X_L}\right)^2 = \frac{V^2}{R^2} + \frac{V^2}{X_L^2}$$

Desta última expressão, por simplificação matemática, chegaremos a:

$$\left(\frac{V}{I}\right)^2 = \frac{R^2 \times X_L^2}{R^2 + X_L^2}$$

Mas, por definição, $\frac{V}{I}$ é a impedância **Z**, donde:

$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

que é a expressão que interessa ao aluno.

Como se viu, para o circuito RLC série, é perfeitamente possível resolver o problema da soma de quadrados graficamente. Em se tratando de circuito paralelo, podem-se aplicar as mesmas construções já ensinadas e determinar rapidamente o valor da impedância e do ângulo de defasagem.

A diferença entre a construção gráfica, para o circuito paralelo, é que se deve marcar, sobre os segmentos de reta, os **valores inversos** da reatância e resistência.

Vamos apresentar um exemplo que esclarece o assunto.

Suponhamos que o indutor da figura 16 seja de 1,6 mH, o resistor de 10 Ω e a fonte forneça 10 V com freqüência de 1 000 Hz. Desejamos calcular:

1º) a impedância **Z** do circuito;
2º) a corrente em cada componente;
3º) a corrente fornecida pela fonte;
4º) a defasagem.

**Solução:**

**a)** Resolvamos o problema analiticamente.

1º) Vimos que:

$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

Logo, devemos calcular:

$$X_L = 6{,}28 \times f \times L$$

Substituindo os valores de f e L, teremos:

$$X_L = 6{,}28 \times 1\,000 \times \frac{1{,}6}{1\,000} \cong 10\,\Omega$$

**Observação**: Dividimos 1,6 por 1 000 para transformar mH em H.

Substituindo $X_L$ por 10 e R também por 10 (dado do problema), na fórmula de **Z**, encontramos:

$$Z = \frac{10 \times 10}{\sqrt{10^2 + 10^2}}$$

$$Z = \frac{100}{\sqrt{100 + 100}}$$

$$Z = \frac{100}{\sqrt{200}} = \frac{100}{14{,}14} = 7{,}07\,\Omega$$

Z = 7,1 Ω, aproximadamente

2º) Como a tensão da fonte é de 10 V, a corrente no resistor será:

$$i_R = \frac{10\,V}{10\,\Omega} = 1\,A$$

e aquela no indutor:

$$i_L = \frac{10}{10} = 1\,A$$

3º) A corrente total fornecida pela fonte é:

$$I = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2} = 1{,}41\,A$$

Observe o aluno que, embora circule 1 A em cada ramo do circuito, a corrente retirada da fonte é menor que 2 A.

4º) O ângulo de fase é calculado

pela expressão:

$$\cos \Phi = \frac{Z}{R}$$

Como Z = 7,07 Ω e R = 10 Ω, temos:

$$\cos \Phi = \frac{7{,}07}{10} = 0{,}707$$

Consultando uma tabela trigonométrica, encontramos:

$$\Phi = 45°$$

como era de se esperar, pois, sendo a reatância igual à resistência, o ângulo Φ deve ser 90 ÷ 2 = 45°.

**b)** Solução gráfica

1º) Para calcular a impedância graficamente, devemos, de início, calcular o valor da reatância indutiva. Esse valor já foi calculado e vale:

$$X_L = 10\ \Omega$$

Agora, traçamos uma semi-reta horizontal e, sobre ela, a partir de um ponto de referência **O**, marcamos o segmento $\overline{OA} = 1/R$, ou seja, $\overline{OA} = 0{,}1$ (℧ = mho - inverso da resistência). Para isso, escolhemos uma escala adequada. Vamos supor que usamos 5 cm para marcar 0,1℧. Isto quer dizer que a escala é de 500 mm : 1 ℧. Agora, a partir do ponto **A**, baixamos uma perpendicular e, sobre ela, marcamos o

segmento $\overline{AB}$ igual a $\frac{1}{X_L} = \frac{1}{10\ \Omega} = 0{,}1$℧

com mesma escala, ou seja, utilizamos 5 cm para marcar 0,1 ℧.

Isto posto, unimos os pontos **O** e **B**.

A medida do segmento $\overline{OB}$ corresponde ao **inverso** da impedância, isto é, 1/Z.

A construção gráfica está indicada na **figura 17**. A medida do segmento $\overline{OB}$, dessa figura, é 71 mm. Devemos transformar essa medida em ℧. Como escolhemos 500 mm para representar 1 ℧, resulta que 71 mm representam:

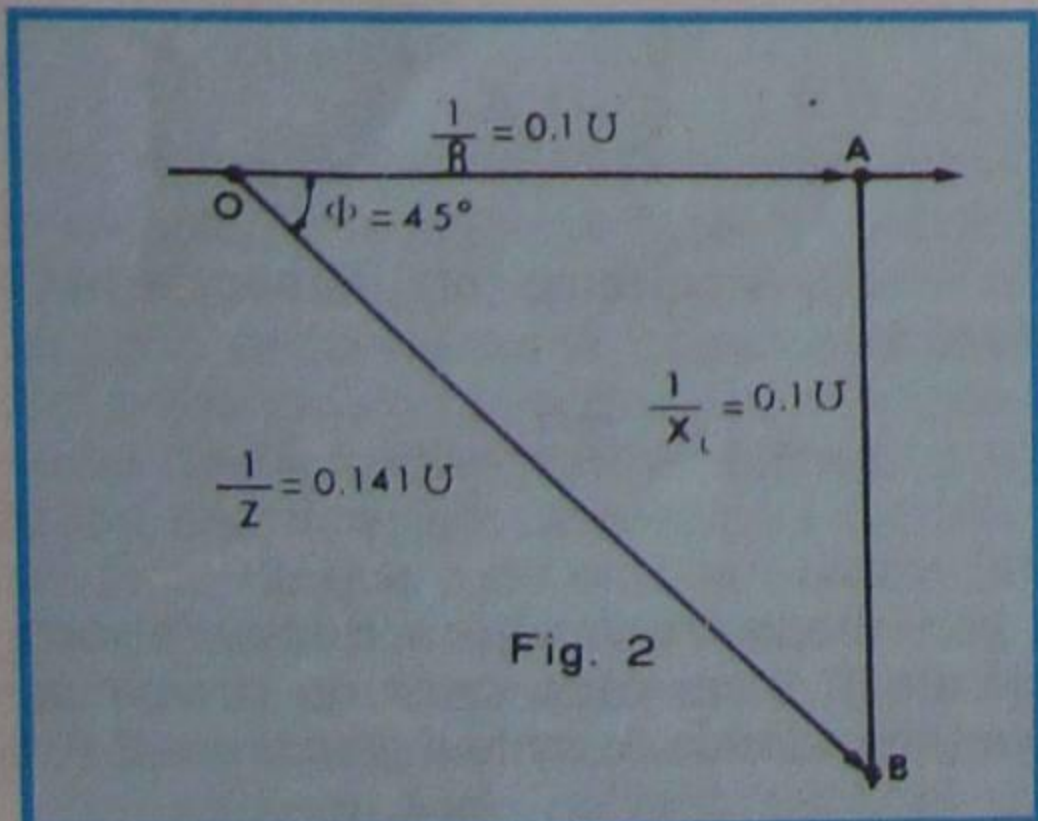



Figura 17 - Construção gráfica.

$$\frac{71}{500} = 0{,}142\ ℧$$

Mas este valor corresponde ao inverso da impedância, ou seja,

$$\frac{1}{Z} = 0{,}142\ ℧$$

Logo:

$$z = \frac{1}{0{,}142\ ℧} = 7{,}04\ \Omega \cong 7{,}1\ \Omega$$

como já havíamos calculado.

2º) A corrente, em cada ramo do circuito, é calculada multiplicando-se $\frac{1}{R}$ e $\frac{1}{X_L}$ por V, ou seja:

$$\frac{1}{R} \times V = 0{,}1 \times 10 = 1\ A$$

$$\frac{1}{X_L} \times V = 0{,}1 \times 10 = 1\ A$$

3º) A corrente total é determinada multiplicando-se $\frac{1}{Z}$ por V, donde:

$$\frac{1}{Z} \times V = \frac{1}{7{,}1} \times 10 \cong 1{,}41\ A$$

4º) Finalmente, o ângulo Φ de defasagem é medido diretamente na figura 17 com um transferidor. Encontraremos:

$$\Phi = 45°$$

**Observação**: Para o circuito RL paralelo mostramos que:

$$\left(\frac{1}{Z}\right)^2 = \left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2$$

Em eletricidade, costuma-se chamar o inverso da impedância, ou seja, 1/Z, de **admitância**, e representá-lo pela letra **g**. O inverso da resistência, 1/R, é chamado de **condutância** e representado por **y** e, finalmente, o inverso da parte reativa, 1/X é chamado de **susceptância** e representado por **b**. Em razão disso, podemos escrever:

$$g^2 = y^2 + b^2 \quad \text{ou} \quad g = \sqrt{y^2 + b^2}$$

com essa notação, o circuito paralelo fica equivalente ao série, e podemos aplicar o método gráfico, que aprendemos na lição especial anterior, sem nos preocuparmos em inverter as quantidades. Esse processo torna mais rápido, e menos sujeito a enganos, o cálculo.

Por exemplo, suponhamos que se deva determinar a impedância de um circuito paralelo, tendo uma resistência de 100 Ω e um indutor de 500 µH ligados a uma fonte de 10 V e 16 000 Hz.

O circuito é aquele que mostramos em **a** da **figura 18**. Determinando a condutância e susceptância, vem:

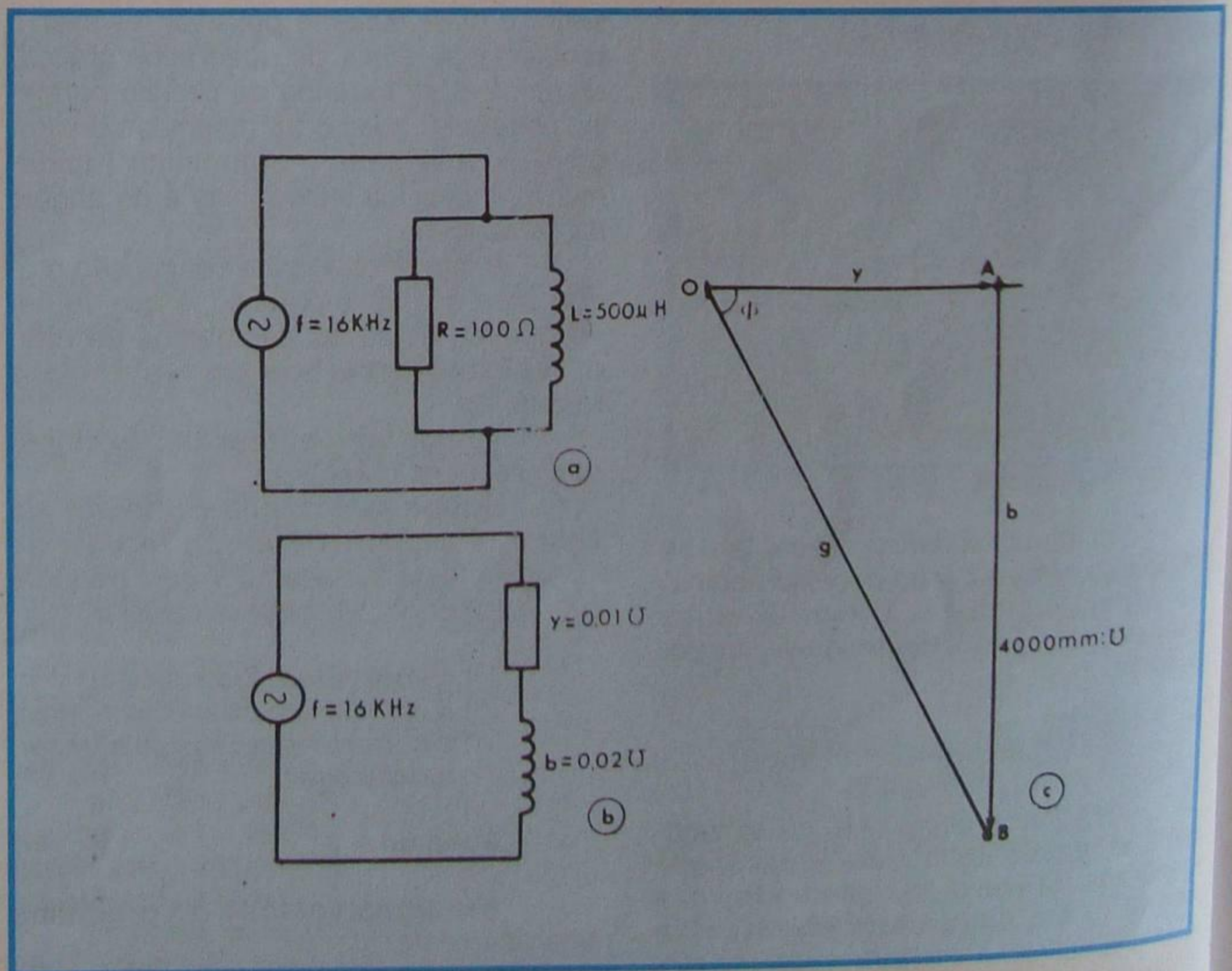



Figura 18 - Circuito e construção gráfica para análise.

$$y = \frac{1}{R} = \frac{1}{100} = 0{,}01\ ℧$$

$$b = \frac{1}{X_L} = \frac{1}{6{,}28 \times 16000 \times \dfrac{500}{1\,000\,000}}$$

$$b = \frac{1}{50{,}24} = 0{,}02\ ℧, \text{ aproximadamente}$$

Esse circuito é equivalente ao mostrado em **b** da figura 18. A solução gráfica é mostrada em **c**, onde tomamos a escala de 4 cm para 0,01 ℧, ou seja, de 4 000 mm : ℧

Como medimos OB = 92 mm, resulta:

$$g = \frac{92}{4\,000} = 0{,}023\ ℧$$

ou:

$$Z = \frac{1}{0{,}023} = 43{,}47\ \Omega$$

O ângulo Φ, medido na figura, é Φ = 74°, aproximadamente.

## 2 - Circuito RC

O circuito RC paralelo é semelhante ao RL, bastando substituir o valor de $X_L$, pelo de $X_C$ nas fórmulas apresentadas. Assim, para o circuito da **figura 19,** a impedância vale:

$$Z = \frac{R\,X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

onde:

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \times f \times C}$$

como já é de conhecimento do aluno.

O ângulo de fase é calculado por:

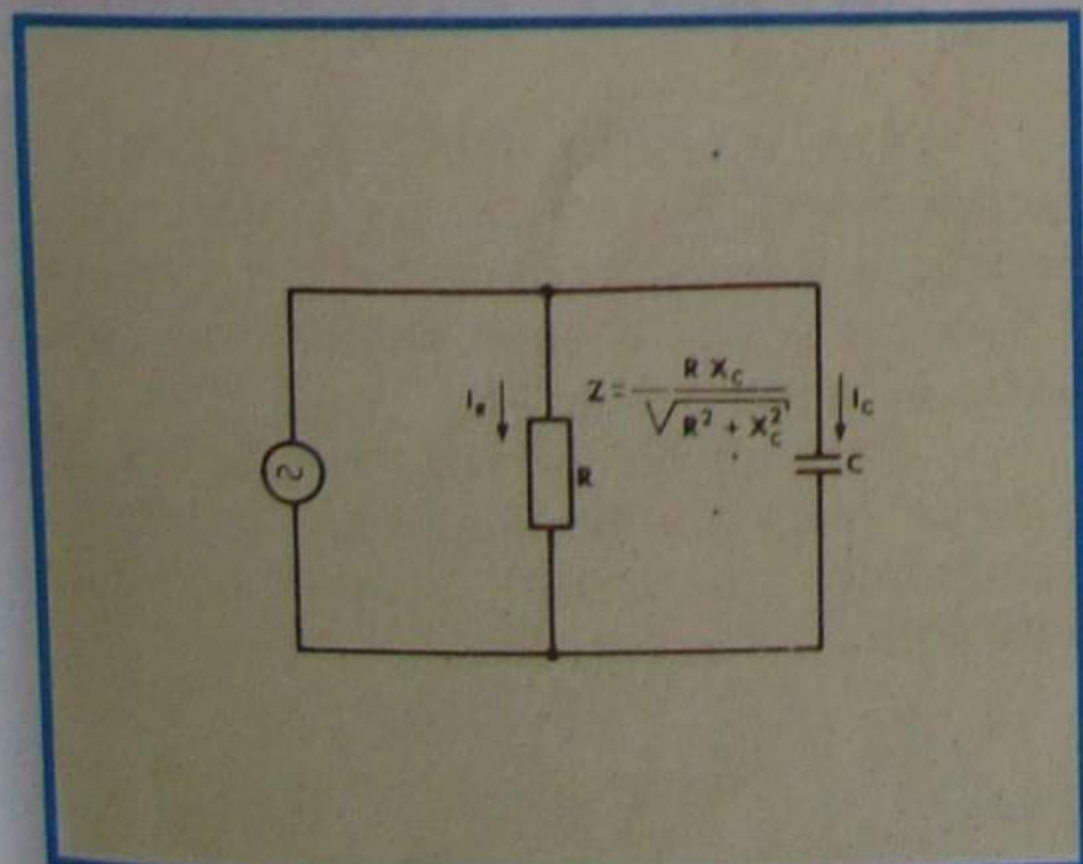



Figura 19 - Circuito RC paralelo.

$$\cos \Phi = \frac{Z}{R}$$

Se considerarmos a admitância, condutância e susceptância, resultará que:

$$g = \sqrt{y^2 + b^2}$$

$$\text{e} \quad \cos \Phi = \frac{y}{g}$$

A solução gráfica desse circuito é inteiramente análoga à do RL, razão por que não insistiremos no assunto.

## 3 - Circuito LC

Na **figura 20,** mostramos o circuito LC paralelo. Nele estamos admitindo que a resistência da indutância seja desprezível. A impedância do circuito é dada por uma das expressões:

$$Z = \frac{(X_L)^2\,(X_C)^2}{\sqrt{(X_L - X_C)^2}} \quad \text{ou} \quad Z = \frac{X_L\,X_C}{X_L - X_C}$$

ou ainda:

$$Z = \frac{2\,\pi \times f \times L}{1 - (2\,\pi\,f)^2 \times L \times C}$$

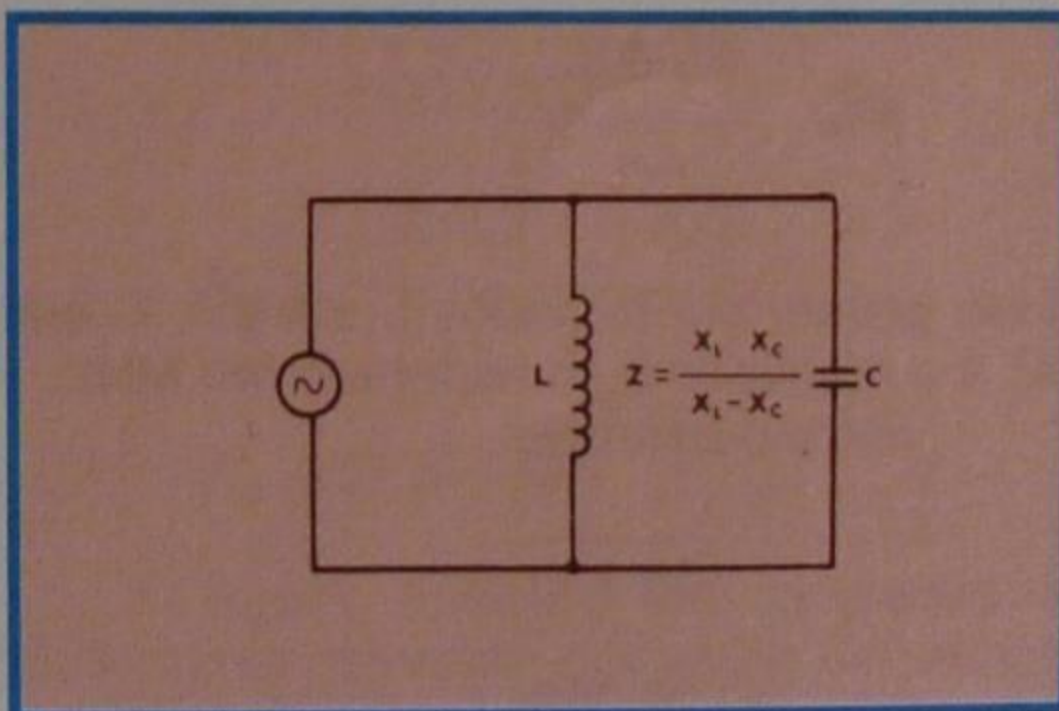



Figura 20 - Circuito LC paralelo.

Esse circuito nos permite observar que existe uma freqüência para a qual a impedância é máxima. De fato, se $X_L$ se aproximar de $X_C$, o denominador tenderá a zero, e a impedância **Z** tenderá ao infinito. Isto acontece para:

$$f = \frac{1}{2\,\pi\,\sqrt{L\,C}}$$

que é a **freqüência de ressonância**. Também se costuma dizer que essa é a freqüência de **anti-ressonância**. Essa última denominação se deve a que, no circuito-série, onde se chamou esta freqüência de freqüência de ressonância, ela corresponde ao maior valor da corrente e menor valor da impedância e, neste caso, isto é, de ligação em paralelo, essa freqüência corresponde ao menor valor da corrente e maior valor da impedância. Como os efeitos são contrários, diz-se que a freqüência do circuito paralelo é de anti-ressonância.

## 4 - Circuito RLC

Chegamos, finalmente, ao circuito RLC, onde há resistência, indutância e capacitância, ligadas em paralelo. A forma clássica de apresentação desse circuito é aquela que mostramos em **a** da **figura 21**.

Entretanto, na prática de rádio, a situação mais comum é aquela em que a resistência do circuito é a do próprio enrolamento, e o circuito mais apropriado é aquele da **figura 21b**, onde a resistência está em série com a indutância.

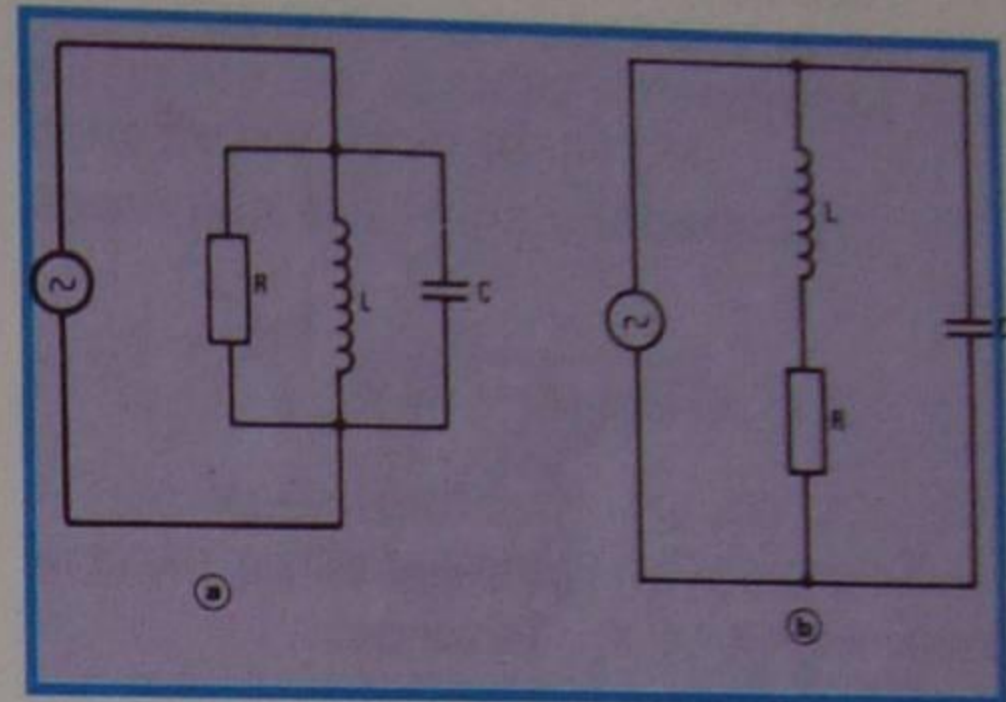



Figura 21 - Circuito RLC paralelo.

A impedância do circuito da figura 21b é dada pela expressão:

$$Z = \sqrt{\frac{R^2 + L^2\,\omega^2}{C^2\,R^2\,\omega^2 + (1 - LC\,\omega^2)^2}}$$

onde: $\omega = 2\pi f$ ou $\omega = 6{,}28\ f$

Essa expressão também pode ser posta sob a forma:

$$Z = \sqrt{\frac{(R^2 + X_L^2)\,X_C^2}{(X_C - X_L)^2 + R^2}}$$

Como R é muito pequeno em comparação com $X_L$, podemos desprezar seu efeito no numerador e escrever:

$$Z = \frac{X_L\,X_C}{\sqrt{(X_C - X_L)^2 + R^2}}$$

ou, substituindo $X_L$ por $2\pi fL$ e $X_C$ por $\frac{1}{2\,\pi\,fC}$ no numerador:

$$Z = \frac{L}{C} \times \frac{1}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}}$$

Esta expressão demonstra que o circuito da figura 21b tem impedância dada pelo produto da relação L/C pelo inverso da impedância (admitância) de um circuito que tivesse os mesmos componentes ligados em série.

Por exemplo, vamos admitir que na figura 21b, L = 202 μH, C = 125 pF e R = 5 Ω. Calculemos a impedância desse circuito

para a freqüência de 900 KHz.

A fórmula a ser usada é:

$$Z = \frac{L}{C} = \frac{1}{Z_{série}}$$

A relação $\frac{L}{C}$ vale:

$$\frac{202}{1\,000\,000} \div \frac{125}{1\,000\,000\,000\,000} =$$

$$= \frac{202}{1\,000\,000} \times \frac{1\,000\,000\,000\,000}{125} =$$

$$= 1\,616\,000$$

A impedância-série é calculada por:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Portanto, vamos inicialmente determinar $X_L$ e $X_C$. Teremos:

$$X_L = 6{,}28 \times f \times L = 6{,}28 \times 900\,000 \times \frac{202}{1\,000\,000}$$

$$X_L = \frac{11\,417{,}04}{10} = 1\,141{,}7$$

que aproximaremos para 1 140.

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \times f \times C}$$

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \times 900\,000 \times \frac{125}{1\,000\,000\,000\,000}}$$

$$X_C = \frac{10\,000\,000}{7\,065} = 1\,415{,}4$$

que aproximaremos para 1 415.

Substituindo os valores encontrados, vem:

$$Z_{série} = \sqrt{(5)^2 + (1\,140 - 1\,415)^2}$$

$$Z_{série} = \sqrt{25 + (-275)^2}$$

$$Z_{série} = \sqrt{75\,650} \cong 275$$

Finalmente, a impedância do circuito paralelo será:

$$Z = \frac{L}{C} \times \frac{1}{Z_{série}}$$

$$Z = \frac{1\,616\,000}{275} \cong 5\,876\ \Omega$$

## II - Ressonância

Na freqüência de ressonância (ou anti-ressonância), as reatâncias anulam-se, e a fórmula da impedância que, no caso, recebe o nome de resistência dinâmica, fica:

$$Z = \frac{X_L X_C}{R} = \frac{1}{R} \times 2\pi f L \times \frac{1}{2\pi f.\ C}$$

$$Z = \frac{L}{C\,R}$$

expressão esta que já é do conhecimento do aluno.

A impedância do exemplo anterior, na freqüência de ressonância, seria, então:

$$Z = \frac{L}{C} \times \frac{1}{R} = \frac{1\,616\,000}{5}$$

$$Z = 323\,200\ \Omega$$

A freqüência de ressonância do circuito é calculada pela fórmula:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

que se transforma em:

$$f^2 = \frac{25\,330}{LC}$$

onde devem ser tomados L em µH, C em pF, e o resultado é considerado em MHz.

Para o exemplo:

$$f = \sqrt{\frac{25\,330}{25\,250}}$$

f = 1 MHz, aproximadamente

Deste exemplo, o aluno pode concluir que a impedância varia muito quando a freqüência se modifica. No caso, ela atinge 323 200 Ω na freqüência de ressonância, que é de 1 MHz e cai para 5 876 Ω, ou seja, cerca de 55 vezes menor, quando a freqüência varia de 100 KHz.

A corrente no capacitor e indutor, na condição de ressonância, é:

$$i_C = \frac{V}{X_C} = \frac{V}{\frac{1}{2\pi f C}} = V \times 2\pi f \times C$$

Mas f, na ressonância, é igual a $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, donde:

$$i_C = V \times \frac{2\pi C.1}{2\pi\sqrt{LC}} = V\sqrt{\frac{C}{L}}$$

Para $i_L$, teremos:

$$i_L = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{2\pi f \times L} = V \frac{1}{2\pi L \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}} = V \times \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$i_L = V\sqrt{\frac{C}{L}}$$

o que demonstra que, na ressonância, as duas correntes são iguais.

Se construirmos um gráfico da variação da corrente com a freqüência, teremos uma curva como a mostrada na **figura 22**. Como se observa, na freqüência de ressonância a corrente é mínima; portanto, é o inverso da condição de ressonância do circuito-série, onde I é máximo.

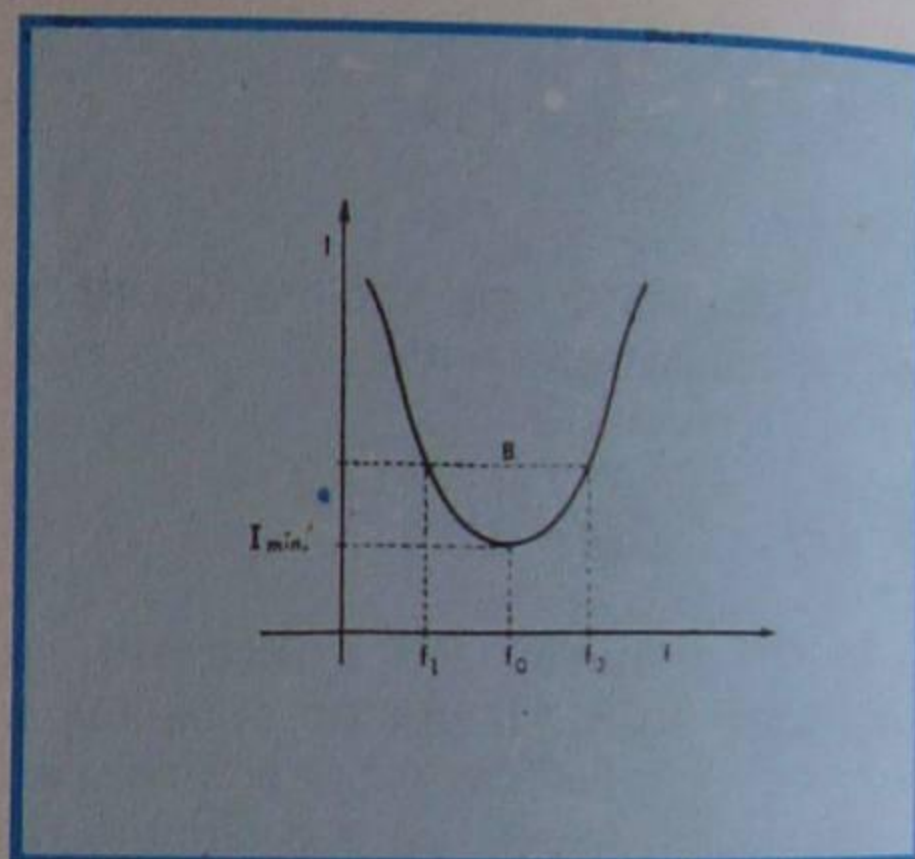



Figura 22 - Variação da corrente pela freqüência.

Ao mínimo de corrente corresponde o máximo de impedância, o que, obviamente, acontece na freqüência de ressonância. Isto significa dizer que a freqüência de ressonância tem dificuldade em passar pelo circuito. Para o indutor ideal, de resistência nula, a freqüência de ressonância seria totalmente barrada. Devido a esta propriedade, muitos autores costumam chamar, ao circuito da figura 21b, de circuito-tampão.

## III - Banda passante

Em circuito RLC paralelo, o gerador está ligado em paralelo com o circuito, e a resistência desse gerador tem influência sobre a seletividade, ou seja, sobre a banda passante.

Chamando de **r** a resistência do gerador e $\mathbf{R_d}$ a impedância do circuito na ressonância, podemos calcular a banda passante pela expressão:

$$B = \frac{f_o}{Q_o} \times \left(1 + \frac{R_d}{r}\right)$$

É fácil de concluir que, sendo **r** muito maior do que $\mathbf{R_d}$ sua influência é pequena sobre a banda passante, mas se ele for pequeno, amortecerá o circuito e alargará a banda passante.

Por exemplo, admitamos que um circuito RLC paralelo, como o da **figura 23**, com L = 253,3 µH, C = 400 pF e R = 10 Ω, esteja ligado à saída de um transistor cuja resistência interna de saída é de 20 K. Vamos determinar a banda passante com carga e sem carga, isto é, da bobina e do circuito.

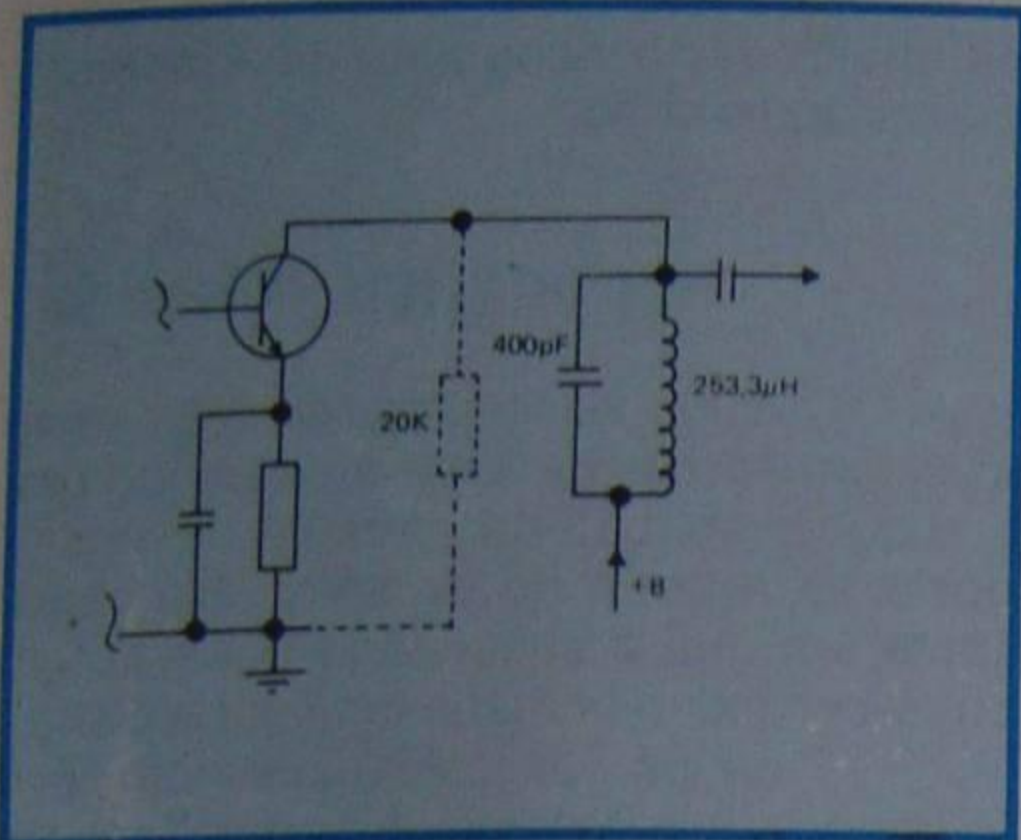



Figura 23 - Circuito RLC paralelo.

**Solução:**

Inicialmente, calculemos o Q da bobina pela fórmula

$$Q_o = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Q_o = \frac{1}{10}\sqrt{\frac{\dfrac{253{,}3}{1\,000\,000}}{\dfrac{400}{1\,000\,000\,000\,000}}}$$

$$Q_o = \frac{1}{10}\sqrt{\frac{253{,}3}{1\,000\,000} \times \frac{10\,000\,000\,000}{4}}$$

$$Q_o = \frac{1}{10}\sqrt{\frac{2\,533\,000}{4}}$$

$$Q_o = \frac{1}{10}\sqrt{633\,250} = \frac{795{,}7}{10} = 79{,}57$$

$Q_o$ = 79,6, aproximadamente

Determinemos, agora, a freqüência de ressonância do circuito. É :

$$f_o = \sqrt{\frac{25\,330}{L \times C}}$$

$$f_o = \sqrt{\frac{25\,330}{253{,}3 \times 400}} = \sqrt{\frac{25\,330}{101\,320}}$$

$$f_o = \sqrt{0{,}25} = 0{,}5 \text{ MHz}$$

A freqüência de ressonância é, portanto, de 500 KHz.

Uma vez que conhecemos a freqüência de ressonância e o $Q_o$ da bobina, podemos calcular a banda passante.

Assim:

$$B = \frac{f_o}{Q_o} = \frac{500\,000}{80} = 6\,250 \text{ Hz}$$

onde consideramos $Q_o$ = 80, que é o valor aproximado de 79,6, que determinamos.

A resistência dinâmica, na freqüência de ressonância, é:

$$R_d = \frac{L}{C\,R}$$

$$R_d = \frac{\dfrac{253{,}3}{1\,000\,000}}{\dfrac{400}{1\,000\,000\,000\,000} \times 10}$$

$$R_d = \frac{253{,}3}{1\,000\,000} \times \frac{1\,000\,000\,000}{4}$$

$$R_d = \frac{253{,}3 \times 1\,000}{4}$$

$$R_d = 63\,325\ \Omega$$

Agora, estamos em condições de determinar a banda passante do circuito carregado, ou seja, amortecido pela resistência interna do transistor.

Como $f_o$ = 500 KHz, $Q_o \cong 80$, $R_d$ = 63 325 Ω e r = 20 KΩ, teremos:

$$B = \frac{500\,000}{80}\left(1 + \frac{63\,325}{20\,000}\right)$$

$$B = 6\,250(1 + 3{,}16)$$
$$B \cong 6\,250 \times 4{,}16$$
$$B \cong 26\,000 \text{ Hz}$$

como se nota, houve grande alargamento da banda passante, o que equivale a dizer que o circuito é pouco seletivo, portanto, inadequado à recepção das ondas de radiodifusão. A perda da seletividade se deve ao amortecimento provocado pela baixa resistência de coletor do transistor.

Se tivéssemos usado um transistor cuja resistência interna fosse da ordem de 1 MΩ, sua influência seria desprezível no amortecimento, pois a relação $R_d/r$ é:

$$\frac{R_d}{r} = \frac{63\,325}{1\,000\,000} = 0{,}062325$$

e o alargamento da banda passante seria de praticamente 6%.

## IV - Fator de mérito

No circuito RLC paralelo, o fator de mérito da bobina é o $Q_o$, definido em outras lições e na lição especial anterior, mas o fator de mérito do circuito, chamado de $Q_c$ (Q carregado), depende da resistência de amortecimento.

Quando se conhece a banda passante do circuito amortecido, o Q carregado é determinado por

$$Q_c = \frac{f_o}{B}$$

No circuito da figura 23, que calculamos linhas atrás, o Q carregado é:

$$Q_c = \frac{500\,000}{26\,000}$$

$$Q_c = 19{,}2$$

Já explicamos, minuciosamente, a influência do Q na banda passante dos circuitos amplificadores de RF, razão pela qual não insistiremos no assunto.

No estudo do circuito RLC série, mostramos que na ressonância a tensão no indutor, ou capacitor, é igual a Q vezes a tensão da fonte, e o Q é chamado de fator de sobretensão.

No circuito RLC paralelo, mostramos, linhas atrás, que na ressonância as correntes no indutor e no capacitor são iguais. Assim, no indutor, por exemplo:

$$i_L = \frac{V}{X_L}$$

Mas:

$$V = R_d\ i$$

$$i_L = \frac{R_d}{X_L} \times i$$

Todavia, $R_d \div X_L = Q$; portanto:

$$i_L = Q \times i$$

o que mostra que, na ressonância do circuito paralelo, a corrente no indutor ou no capacitor é Q vezes maior do que a

corrente fornecida pela fonte. Neste caso, o Q é chamado de **fator de sobrecorrente**.

## V - Circuitos acoplados indutivamente

Já estudamos, no início do curso, as diversas possibilidades de acoplamento entre circuitos. Em amplificação de RF de banda estreita, emprega-se, quase que exclusivamente, o acoplamento indutivo, mediante a indutância mútua entre duas bobinas. O dispositivo é chamado de transformador de RF. Na **figura 24**, mostramos o circuito de acoplamento entre a antena e a base de um transistor amplificador de RF.

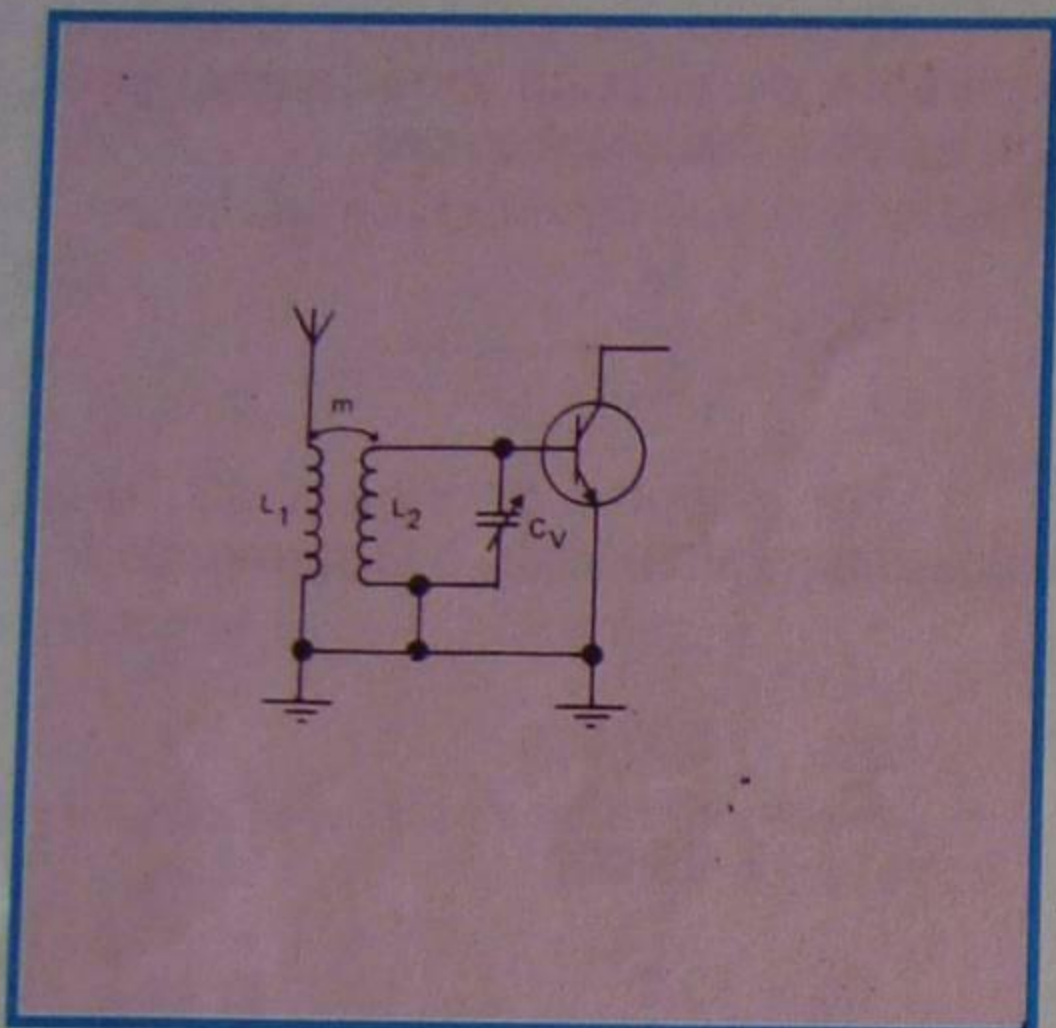



Figura 24 - Circuito de antena com acoplamento indutivo.

Não é difícil de imaginar que a indutância de $L_1$ sobre $L_2$, e vice-versa, depende da distância entre os dois enrolamentos, ou seja, do grau, ou coeficiente, de acoplamento entre os enrolamentos.

De um modo geral, o coeficiente de acoplamento é definido pela expressão:

$$K = \frac{Z_m}{\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}}$$

ou seja, pela relação entre a impedância devida à mútua indutância, e a raiz quadrada do produto das indutâncias do primário e secundário.

No caso particular de um transformador de RF, a expressão de K se reduz para:

$$K = \frac{m}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

onde **m** é a indutância mútua e $L_1$ e $L_2$, as indutâncias totais do primário e secundário.

Dependendo do valor do coeficiente de acoplamento, os circuitos podem ser:

### a) De acoplamento fraco

Aqui, a distância entre os enrolamentos é tal que apenas uma pequena parcela das linhas de força de um enrolamento cortam as espiras do outro. Se os dois enrolamentos são sintonizados, pode-se observar que o máximo de corrente no secundário se verifica quando ele está em ressonância com o primário. Levantando a curva da corrente em função da freqüência para o secundário, ela apresentará uma forma parecida com a mostrada na **figura 25, curva 1.**

### b) De acoplamento crítico

Estando os enrolamentos sintonizados na mesma freqüência, observa-se que, variando o acoplamento, ou a mútua, existe uma posição em que a corrente atinge seu valor máximo, sem que a curva se deforme. Quando isso acontece, dizemos que se atingiu o acoplamento crítico e o valor de K é indicado por $K_C$. Nessa situação, o valor de $K_C$ é calculado por:

$$K_c = \frac{1}{\sqrt{Q_1 Q_2}}$$

ou, se os dois enrolamentos têm o mesmo Q:

$$K_c = \frac{1}{Q}$$

A variação da corrente em função da freqüência é a que mostramos na **curva 2 da figura 25**.

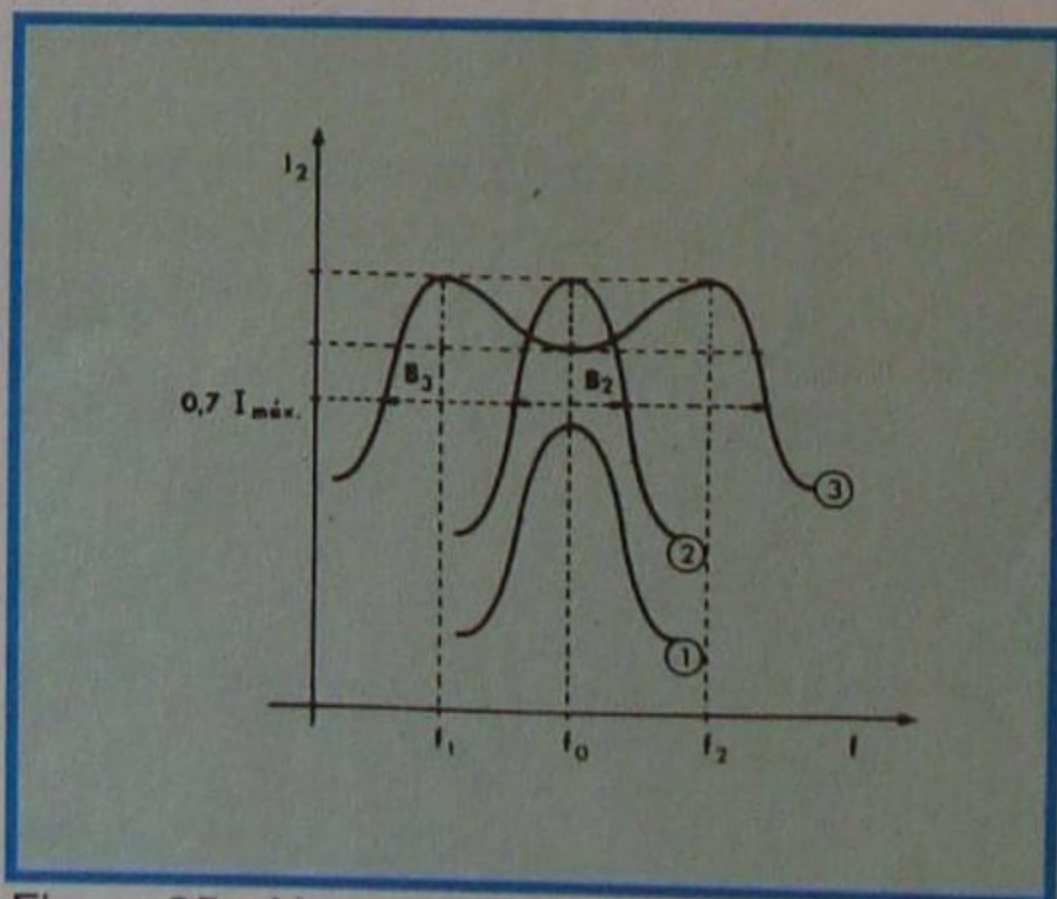



Figura 25 - Variação da corrente em função da freqüência.

### c) De acoplamento forte

Quando o acoplamento é superior ao crítico, diz-se que ele é forte ou cerrado. Neste caso, a curva de variação da corrente com a freqüência assume o aspecto da **curva 3 da figura 25**. Essa curva apresenta um **vale** na freqüência de ressonância, e dois **picos**, correspondentes à corrente máxima, para duas freqüências diferentes da de ressonância.

Nos transformadores de RF utilizados em radiotécnica, evita-se o acoplamento cerrado devido à pouca seletividade, como se pode facilmente notar pelo exame da figura 25. Entretanto, quando um dos enrolamentos não é sintonizado, como acontece freqüentemente com os circuitos transistorizados, é conveniente o acoplamento forte, já que a transferência de energia de um enrolamento ao outro é mais eficiente.

Quando se deseja grande seletividade, o acoplamento é sempre menor que o crítico.

## VI - Impedância refletida

O aluno se recorda, da lição sobre transformadores de força e de áudios que qualquer variação da corrente do secundário se refletia no primário. No caso-limite em que o secundário entrasse em curto-circuito, o primário também entraria.

Para os transformadores de RF o fenômeno é o mesmo. A importância do fenômeno em RF está em que uma carga baixa no secundário provocará a diminuição da impedância do primário (como nos transformadores de áudio), com a conseqüente perda de seletividade, ou seja, abaixamento do Q. Isto não é novidade nenhuma para o aluno, pois temos repetido sempre esse fato, inclusive com alguns exemplos quantitativos, com a intenção, mesmo, de que ficasse bem gravado.

Temos mostrado que a impedância do secundário reflete-se no primário, multiplicada pelo quadrado da relação de transformação. Em nossos exemplos, sempre consideramos a carga do secundário resistiva; entretanto, o aluno deve ter em mente que isso não é necessariamente obrigatório. De fato, se o transformador tiver resistência, indutância e capacitância no secundário, os valores desses componentes se refletirão no primário, de modo que:

$$L_f = n^2 L_s$$

$$C_r = \frac{C_s}{n^2}$$

$$R_r = n^2 R_s$$

onde o índice **r** indica o valor refletido e o **s**, o valor no secundário.

Nota-se, das expressões acima, que a capacitância do secundário está dividida pelo quadrado da relação de transformação. Assim é, porque a reatância capacitiva varia inversamente com a capacitância.

Na situação de maior interesse em radiotécnica, a carga do secundário é resistiva, como acontece na ressonância.